

Dreidimensionale Sonographie am Masthähnchenauge unter diskontinuierlichen Beleuchtungsbedingungen

von Annika Schneeganß

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität

München

**Dreidimensionale Sonographie am Masthähnchenauge
unter diskontinuierlichen Beleuchtungsbedingungen**

von Annika Schneeganß

aus München

München 2018

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Klinik für Vögel, Kleinsäuger, Reptilien und Zierfische

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Rüdiger T. Korb

Mitbetreuung durch: Dr. Kristina Moser

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph. D

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Rüdiger T. Korb

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

Tag der Promotion: 10.02.2018

Für Tina

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	1
2 Literatur	3
2.1 Visuelle Wahrnehmung des Huhnes – Grundlagen	3
2.1.1 Anatomie des Vogelauges	3
2.1.2 Akkommodation und Sehleistung	9
2.1.3 Visuelle Perzeption	10
2.1.4 Lichtbedingte Erkrankungen des Auges in der Broilermast.....	11
2.1.5 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	15
2.2 Sonographie	16
2.2.1 Historischer Überblick der dreidimensionalen Sonographie in der Veterinärophthalmologie	16
2.2.2 Physikalische und technische Grundlagen.....	17
2.2.3 Untersuchungsverfahren und dreidimensionale Sonographie	23
2.2.4 Okulare Sonographie.....	26
3 Material und Methoden.....	29
3.1 Materialbeschreibung.....	29
3.1.1 Versuchsgut	29
3.1.2 Material für die ophthalmologische Untersuchung	33
3.1.3 Material für die sonographische Untersuchung	35
3.1.4 Material für die postklinische Dokumentation	39
3.2 Untersuchungsmethodik.....	39
3.2.1 Die ophtalmologische Untersuchung	39
3.2.2 Die sonographische Untersuchung	41
3.2.3 Biometrie.....	46
3.2.4 Postklinische Dokumentation	50

3.2.5	Statistische Auswertung	50
4	Ergebnisse.....	52
4.1	Ergebnisse der ophthalmologischen Untersuchung	52
4.2	Darstellung und Darstellbarkeit der Augenstrukturen im zwei- und dreidimensionalen Ultraschall	52
4.2.1	Kornea.....	52
4.2.2	Vordere Augenkammer	53
4.2.3	Hintere Augenkammer.....	54
4.2.4	Linse	54
4.2.5	Iris	54
4.2.6	Ziliarkörper.....	54
4.2.7	Skleralring.....	54
4.2.8	Kammerwinkel	55
4.2.9	Lider.....	55
4.2.10	Bulbus	55
4.2.11	Glaskörper	55
4.2.12	Augenfächer	56
4.2.13	Hintere Augenwand.....	57
4.3	Lichtprogramme.....	59
4.4	Entwicklung Gewicht.....	61
4.5	Variationskoeffizient.....	62
4.6	Korneadicke	63
4.7	Vordere Augenkammer	63
	Tabelle 3: Modell vordere Augenkammer	63
4.8	Linse axial.....	67
4.9	Linse transversal	70
4.10	Glaskörper axial.....	74
4.11	Hintere Augenwand.....	77
4.12	Bulbus axial	81

4.13	Augenfächer	85
4.14	Intraokularer Druck.....	88
5	Diskussion	92
5.1	Dreidimensionale Sonographie in der Ornitho-Ophthalmologie.....	92
5.2	Das Lichtprogramm.....	93
5.3	Die Anzahl und Art der Tiere	93
5.4	Die ophthalmologische Untersuchung	94
5.5	Material und Methodik der 3-D- Sonographie	94
5.6	Die Ultraschalluntersuchung.....	97
5.7	Methodik der Augenvermessung	99
5.7.1	Zufälliger Fehler der Messmethode.....	99
5.7.2	Abhängige und unabhängige Variablen.....	100
5.8	Auswertung der Messergebnisse hinsichtlich lichtbedingter Einflüsse.....	101
5.9	Intraokularer Druck.....	102
5.10	Aspekte der Tierschutzrelevanz.....	104
6	Zusammenfassung.....	107
7	Summary.....	110
8	Literatur	112
9	Anlagenverzeichnis	125
10	Danksagung	136

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Außenansicht des Versuchsstalles in Niederbayern	30
Abbildung 2: Innenansicht des Versuchsstalles in Niederbayern	30
Abbildung 3: Untersuchung des Augeninnendruckes mittels Rebound-Tonometer Tonovet® mit eingelegter Messsonde.....	35
Abbildung 4: Ultraschallgerät Voluson i der Firma GE Healthcare (Foto: GE Healthcare/Deutschland)	37
Abbildung 5: Linearschallkopfsende R SP6-16RS der Firma GE Healthcare (Foto: GE Healthcare/Deutschland)	38
Abbildung 6: Schnittebenen im Volumenscan, Masthähnchenauge (Gallus gallus domesticus) an MT 10.....	46
Abbildung 7: Vermessung der okularen Strukturen an MT 15.....	48
Abbildung 8: Vermessung am Pecten oculi an MT 20.....	49
Abbildung 9: Physiologische zweidimensionale sonographische Darstellung eines Auges beim Masthähnchen (Gallus gallus domesticus).	53
Abbildung 10: Physiologische zweidimensionale sonographische Darstellung des Pecten oculi beim Masthähnchen (Gallus gallus domesticus), MT 10.....	56
Abbildung 11: Physiologischer Blutfluss am Pecten oculi an MT 10.....	57
Abbildung 12: Vergleich der hinteren Augenwand an Messtag 10 und 15.....	58
Abbildung 13: Beleuchtungsbedingungen Plan und Ist bei Kontroll- und Versuchsgruppe....	59
Abbildung 14: Lichtprogramm Plan und Ist für Versuchs- und Kontrollgruppe	60
Abbildung 15: Gewichtsentwicklung von Versuchs- und Kontrollgruppe.....	61
Abbildung 16: Variationseffekt rechtes und linkes Auge der hinteren Augenwand.....	62
Abbildung 17: Der geschätzte Alterseffekt der vorderen Augenkammer.....	65
Abbildung 18: Durchschnittlicher Verlauf der vorderen Augenkammer	66
Abbildung 19: Der geschätzte Alterseffekt der Linse axial.....	68
Abbildung 20: Durchschnittlicher Verlauf der Linse axial	69
Abbildung 21: Der geschätzte Alterseffekt der Linse transversal	72
Abbildung 22: Durchschnittlicher Verlauf der Linse transversal.....	73
Abbildung 23: Der geschätzte Alterseffekt des Glaskörpers axial	75
Abbildung 24: Durchschnittlicher Verlauf des Glaskörpers axial.....	76
Abbildung 25: Der geschätzte Alterseffekt der hinteren Augenwand	79
Abbildung 26: Durchschnittlicher Verlauf der hinteren Augenwand	80
Abbildung 27: Der geschätzte Alterseffekt des Bulbus axial	83

Abbildung 28: Durchschnittlicher Verlauf des Bulbus axial	84
Abbildung 29: Der geschätzte Alterseffekt des Augenfächers axial	86
Abbildung 30: Durchschnittlicher Verlauf des Augenfächers axial	87
Abbildung 31: Der geschätzte Alterseffekt des intraokularen Druckes	90
Abbildung 32: Durchschnittlicher Verlauf des Augeninnendrucks	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beleuchtungsintensitäten und Dämmerungsperioden der jeweiligen Masttage	32
Tabelle 2: Messpunkte mit Ansatz und Ursprung bei der Sonographie (analog zu STROBEL (2010)).....	50
Tabelle 3: Modell vordere Augenkammer	63
Tabelle 4: Modell Linse axial.....	67
Tabelle 5: Modell Linse transversal	70
Tabelle 6: Modell Glaskörper axial.....	74
Tabelle 7: Modell hintere Augenkammer	77
Tabelle 8: Modell Bulbus axial.....	81
Tabelle 9: Modell Augenfächer axial.....	85
Tabelle 10: Modell intraokularer Druck.....	88

Abkürzungsverzeichnis

2D	=	zweidimensional
3D	=	dreidimensional
A.	=	Arteria, Arterie
A-Mode	=	Amplituden-Modulation
B-Mode	=	Brightness-Modulation
Cd	=	Candela, SI-Einheit
Db	=	Dezibel
Fa.	=	Firma
Gain	=	Gesamtverstärkung
LIAG	=	Light induced avian glaucoma
Lm	=	Lumen, SI-Einheit
M./Mm	=	Musculus/ Musculi, Muskel/Muskeln
MHz	=	Megahertz
Mm Hg	=	Millimeter Quecksilbersäule
M-Mode	=	Motion-Modulation
MT	=	Masttag
Nm	=	Nanometer, SI-Einheit
Nm	=	Anzahl
OCT	=	optische Kohärenztomographie
S	=	Standardabweichung
TCG/TGC	=	time compensated gain / time gain compensation
UV	=	ultraviolett
V	=	Variationskoeffizient

1 Einleitung

Das Licht stellt ein wichtiges Werkzeug zur Regulierung des Wohlbefindens in der Broilermast über Veränderungen des Verhaltens und der Gesundheit der Tiere dar. Vor dem Hintergrund der Kunstlichtbeleuchtung sind die Aspekte Photoperiode, Wellenlänge und Lichtintensität zu betrachten (KORBEL & STURM, 2005; DEEP et al., 2010).

Das primäre Sinnesorgan der Klasse Aves stellt das Auge dar. Da sich die Sehfähigkeit der Vögel im Gegensatz zum Säugetier grundlegend unterscheidet, nehmen sie Lichtintensitäten verschiedener Leuchtmittel grundlegend anders wahr als der Mensch, da sie empfindlicher im blauen und roten Lichtspektrum sind (LEWIS & MORRIS, 2000). In diesem Zusammenhang ist auch die Ultraviolett-Perzeption hervorzuheben, deren Bedeutung nicht nur für die visuelle Orientierung, sondern auch für die inter- und intraindividuelle Kommunikation und die Beurteilung von Nahrungsquellen bislang nur im Ansatz geklärt ist.

Es stellt sich daher die Frage, ob die Lichtintensität von 20 Lux, welche in der EU-Richtlinie 2007/43/EG festgelegt und in die nationale Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung übernommen wurde, der Entwicklung der Augen von Masthühnern gerecht wird.

In der Literatur liegen bereits zahlreiche Studien vor, die sich mit den Auswirkungen verschiedenster Kunstlichtbedingungen auf die Broilergesundheit beschäftigen. So können bei einer Verminderung der Lichtintensität Größenänderungen der Augenstrukturen nachgewiesen werden.

Die okularen Veränderungen wurden bisher allerdings nicht an lebenden Tieren diagnostiziert, sondern die Befunde mittels Messschieber am enukleierten Auge erhoben (LAUBER & KINNEAR, 1979; DEEP et al., 2010; OLANREWAJU et al., 2015; RAULT et al., 2016).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher zu überprüfen, ob sich ein diskontinuierliches Lichtprogramm mit Lichtintensitäten von weniger als 20 lux auf die Entwicklung der Augenstrukturen von Masthähnchen auswirken kann und diese Veränderungen mittels Ultraschalltechnik darstellbar sind.

Zudem soll die Einsatzfähigkeit der nichtinvasiven zwei- und dreidimensionalen Sonographie am Masthähnchenaugen hinsichtlich lichtbedingter ophthalmologischer Erkrankungen untersucht werden. Hierbei soll ebenfalls die Darstellbarkeit morphologischer okularer Strukturen mittels Ultraschall evaluiert werden.

Anhand der erworbenen Daten können möglicherweise wesentliche standardisierte Grundlagen zur Einschätzung der Tiergerechtigkeit von Lichtverhältnissen im Stall und damit tierschutzgerechtere Haltungsbedingungen in der Broilermast erreicht werden.

2 Literatur

2.1 Visuelle Wahrnehmung des Huhnes – Grundlagen

2.1.1 Anatomie des Vogelauges

Die Anatomie des Vogelauges gleicht im Großen und Ganzen der eines Säugetierauges, jedoch gibt es sowohl physiologische als auch anatomische Besonderheiten, die im Folgenden dargestellt werden.

Es ist bekannt, dass Vögel im Verhältnis zu ihrem Körper relativ große Augen haben, da der Sehsinn ein wichtiges Sensorium für die Klasse Aves darstellt (MARTIN, 1985). Beim Menschen macht der Gewichtsanteil der Augen am Kopfgewicht nur etwa 1% aus (ENGELMANN, 1983), bei ausgewachsenen Hühnern 7-8,5% und bei Küken 12% (REESE et al., 2008). KILTIE (2000) begründete die enorme Größe der Augen mit der Korrelation der Sehschärfe zur Augengröße. Nach GARAMSZEGLI et al. (2002) entwickelten die Vögel daher unterschiedliche Augentypen, kombiniert wurde hierbei ein großer Durchmesser des Auges mit einem großen Sehfeld der Retina, jedoch mit einem reduzierten Gewicht. Durch die großen Augen wird das Gehirn aufgrund von Platzmangel in die Rückseite des Schädels geschoben, das olfaktorische System beschränkt sich auf einen schmalen Kanal entlang der Mittellinie (KAISER, 2007). Insgesamt gibt es drei unterschiedliche Grundformen der Augen bei Vögeln, tubulär, konisch und flach (KORBEL, 1994). NICKEL et al. (1991) beschreibt die Augenform des Huhnes (*Gallus gallus* var. dom.) als flach.

Der Augapfel besteht aus mehreren Wänden, hierzu zählen die äußere, mittlere und innere Augenhaut.

Die bindegewebige Tunica fibrosa bulbi, also die äußere Augenhaut, setzt sich aus der Sklera und der durchsichtigen Kornea zusammen. Sie verleiht dem Auge Schutz vor äußeren Einflüssen und gibt dem Auge Formstabilität (BEZZEL, 1990). Aufgrund ihrer Krümmung bricht sie das Licht und überträgt es durch ihre Transparenz (JONES et al., 2007). Die Hornhaut besteht aus insgesamt fünf Schichten und gleicht der von Haussäugetieren, allerdings ist die Descemetische Membran (*Lamina limitans profunda*) nicht bei allen Tieren der Klasse Aves vorhanden (PEARSON, 1972). Die Schichten setzen sich aus dem vorderen Hornhautepithel (*Epithelium corneae externum*), der Bowman-Membran (*Lamina limitans superficialis*), der

Bindegewebsschicht (*Substantia propria corneae*), der Descemetischen Membran (*Lamina limitans profunda*) und aus dem hinteren Hornhautepithel (*Epithelium corneae internum*) zusammen. Insgesamt ist die Hornhaut aber im Gegensatz zu anderen Tierarten vergleichsweise dünn (JONES et al., 2007). Sie zeichnet sich sowohl durch Transparenz als auch durch Avaskularität und das Fehlen von Lymphgefäßen aus (JONES et al., 2007), jedoch besitzt sie sehr viele Nervenfasern. Via Diffusion des präkornealen Tränenfilms und Kammerwasserdiffusion erfolgt ihre Nährstoffversorgung (REESE et al., 2008).

Der Übergang zur Sklera ist bei den Vögeln weitgehend pigmentiert (KORBEL, 1994). Die Sklera besteht aus Bindegewebe, in welches Knorpelplatten aus Hyalin eingebettet sind. Der Nervus opticus tritt an der hinteren Augenwand durch eine Aussparung, die von den beschriebenen Knorpelplatten gebildet werden, durch das Auge (FREWEIN & SINOWATZ, 2004). Die Knorpelplatten erstrecken sich bis zum Übergang von Kornea zur Sklera, wo sie in den sogenannten Skleralring übergehen. Dieser besteht bei den meisten Vögeln aus 10-18 sich überlappenden Knochenplättchen (*Ossicula sclerae*). Beim Huhn liegt die Anzahl bei 13 – 16 Stück (COULOMBRE et al., 1962; FRANZ-ODENDAAL, 2008). So formt die Sklera mit der chondralen Ossifikation und den Knochenplättchen die Struktur des Auges, sie schützt vor Verformung bei Flug oder Tauchgang und gibt den Ziliarmuskeln ihren Ansatzpunkt (MURPHY, 1984; FRANZ-ODENDAAL & VICKARYOUS, 2006).

Zwischen der Retina und der Sklera befindet sich die in drei Abschnitte gegliederte Uvea (*Tunica vasculosa bulbi*). Sie besteht aus der Iris, dem Corpus ciliare und der Choroidea (FREWEIN & SINOWATZ, 2004). Sie weist sensible Nervenfasern, eine gute Vaskularisation, sowie eine meist starke Melaninpigmentierung auf (WALLS, 1942).

Die Iris besteht aus Fibroblasten, Nervenzellen, Blutgefäßen, Kollagen und Epithelzellen, ebenso aus muskulären Anteilen. Sie entspringt aus dem vorderen Anteil des Corpus ciliare und bildet eine Blende vor der Linse, die sogenannte Pupille. Ebenso trennt die Iris dadurch die vordere von der hinteren, wesentlich kleineren, Augenkammer. Mittels Kontraktion oder Dilatation der Iris kann der Lichteinfall in den hinteren Augenabschnitt somit reguliert werden (JONES et al., 2007). An der Irisbasis, sowie am Rand der Pupille, ist die Iris vom Umfang her breiter, in der Mitte jedoch deutlich schmaler (MARTIN, 1985). Verankert wird die

Basis der Iris mit dem Ligamentum pectinatum, welches aus elastischen Fasern besteht und den Kammerwinkel (Angulus iridocornealis) überbrückt (FREWEIN & SINOWATZ, 2004).

Der Durchmesser der Pupille wird durch die kontraktile Elemente der Iris in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen reguliert. Erwähnt sei hier der Musculus sphincter pupillae, welcher durch Kontraktion den Pupillendurchmesser verringern kann. Der Musculus dilatator pupillae wird von den radialen Blutgefäßen der Iris versorgt (WALLS, 1942). Die eben genannten Muskeln sind im Gegensatz zu den Säugetieren gestreift, sodass die Akkommodation durch bewusste Steuerung stattfinden kann (REESE et al., 2008).

Der Strahlenkörper oder Ziliarkörper (Corpus ciliare) ist an seiner Außenfläche am knöchernen Skleralring befestigt. Er liegt zwischen der Choroidea und der Irisbasis (Margo ciliaris iridis). Er hat die Form eines ringförmigen, vorgewölbten Wulstes (FREWEIN & SINOWATZ, 2004) und besteht aus einer vaskularisierten und pigmentierten Bindegewebsmasse. Seine Aufgaben sind die Beteiligung am Akkommodationsprozess, die Verankerung der Linse sowie die Verformung der Kornea und der Linse durch seine muskuläre Komponente (REESE et al., 2008). Außerdem bildet er Kammerwasser durch die Ziliarfortsätze und erzeugt somit den intraokularen Druck, ebenso stellt er die Blut-Kammerwasserschranke dar (WALLS, 1942; JONES et al., 2007). Die Linse wird durch die Zonulafasern (Fibrae zonulares) des Strahlenkörpers aufgehängt, welcher auch die Ziliarfortsätze (Processus ciliares) bildet. Diese stehen in engem Kontakt mit der Linse (JONES et al., 2007). Im Gegensatz zum Säugetierauge haben die Zonulafasern beim Vogelauge aber nicht die Aufgabe der Linse einen Aufhängeapparat zu bieten (FREWEIN & SINOWATZ, 2004; REESE et al., 2008). Der apikale Teil der Ziliarfortsätze der Plicae ciliares ist mit dem peripheren Teil der Linse fest verwachsen und bieten ihm so eine stabile Fixierung. Aufgrund dieser Gegebenheit lassen sich beim Vogel nur sehr selten Linsenluxationen nachweisen (KORBEL, 2001). Im Stroma des Ziliarkörpers ist der Ziliarmuskel (M. ciliares) eingebettet. Er gliedert sich in den vorderen Musculus ciliaris anterior (M. cornealis anterior oder auch Cramptonscher Muskel) und in den hinteren Musculus ciliaris posterior (M. cornealis posterior oder Brückescher Muskel) (ELDER, 1970; REESE et al., 2008).

Die Linse befindet sich zwischen dem Glaskörper und der Irisrückseite. Sie ist von epithelialeem Ursprung, besitzt eine bikonvexe Form und ist verformbar (REESE et al., 2008). Die Form der Linse ist bei nachtaktiven Vögeln und bei Wasservögeln sphärisch, wohingegen die Linse tagaktiver Vögel und somit auch von Hühnern eine flache Form aufweist (KORBEL, 1994). Die Linse besteht aus mehreren strukturellen Anteilen. Die Linsenkapsel (Capsula lentis) ernährt via Diffusion die gesamte Linse. Durch ihre semipermeable Barriere kann der Kontakt zwischen Immunsystem und Linseneiweiß verhindert werden (REESE et al., 2008). Unterhalb der Linsenkapsel befindet sich ein Ringwulst (Pulvinus anularis lentis), der typisch für die Spezies Vogel ist. Er umgibt den Linsenäquator und gibt den Ziliarfortsätzen ihren Ansatzpunkt (FREWEIN & SINOWATZ, 2004). Ihm wird auch die Aufgabe der nutritiven Versorgung der Linsenkammer (Vesicula lentis, zwischen Ringwulst und Linsenkörper) zugesprochen (SLONAKER, 1918), sowie eine Beteiligung an der schnellen lentikulären Akkommodationsfähigkeit (REESE et al., 2008). Der Linsenkern (Corpus centrale lentis) gleicht im Aufbau dem von Säugetieren, er hat eine konzentrische Anordnung von Linsenfasern (Fibrae lentis) und bei den meisten Vogelarten befindet sich zusätzlich Glykogen im Linsenkern (FREWEIN & SINOWATZ, 2004). Die Linse hat, ebenso wie die Kornea, die Funktion das einfallende Licht zu brechen. Sie fokussiert das Licht auf die Oberfläche der Retina und kann durch Verformung ein scharfes Bild entstehen lassen (JONES et al., 2007).

Die Aderhaut (Choroidea) liegt der inneren Schicht der Sklera auf. Sie besteht hauptsächlich aus Bindegewebe. Sie ist vaskularisiert, da sie eng mit der Retina in Kontakt steht und diese mit ernährt, relativ dünn und weist eine starke Pigmentierung auf. Dies verhindert interne Reflexion von Licht innerhalb des Augapfels und lässt auch von außen keine Lichtstrahlen in das Auge eindringen. Bei der Broilerlinie Ross 308 liegt nur eine fleckenförmige, schwärzlich-graue Verfärbung der Choroidea, jedoch keine starke Pigmentierung vor (WEISE, 2008).

Ein weiteres Merkmal des Vogelauges ist der Augenfächer (Pecten oculi). Hierbei handelt es sich um eine pigmentierte Struktur, die in den Glaskörper ragt und gliales Stützgewebe in sich trägt (KORBEL, 1994). Der Augenfächer weist eine hohe Gefäßversorgung auf. Eine eigene Arterie, die A. pectinis oculi, durchzieht ihn (HORST, 2002). Ein dichtes anastomosierendes Kapillarnetz lässt sich ebenso finden (DIETERICH et al., 1973). Es gibt verschiedene Formen des Pecten oculi. Bei

Hühnern lässt sich der Faltentyp des Augenfächers finden (REESE et al., 2008). Seine Funktion ist noch nicht abschließend geklärt, jedoch lässt sich vermuten, dass der Pekten eine nutritive Funktion auch hinsichtlich der avaskulären Retina besitzt (KORBEL, 1999). Ebenso wird dem Augenfächer aber auch die Beteiligung an pressor- und thermoregulatorischen Eigenschaften zugesprochen, die vor allem bei großen Flughöhen wichtig sind (WALLS, 1942).

Die Tunica interna bulbi, also die innere Augenhaut, wird auch als Retina bezeichnet. Sie entspringt dem Neuroektoderm und ihre Neurosensitivität ist von großer Bedeutung (WALLS, 1942). Die Netzhaut des Vogels ist vollkommen avaskulär, ihre Ernährung wird sowohl von der Choroidea als auch vom Augenfächer übernommen (SEIDEL, 1988). Einschichtiges Pigmentepithel entsteht aus dem Außenblatt und liegt der Choroidea fest auf. Es ist bei Hühnern sowie bei allen anderen tagaktiven Vögeln stark pigmentiert, was dazu führt, dass Lichtreflektionen ins Augeninnere verhindert werden (GELATT et al., 2012). Das Ergebnis ist eine bessere Sehschärfe (KORBEL et al., 1997; FREWEIN & SINOWATZ, 2004). Das Stratum nervosum retinae bildet das Innenblatt der Netzhaut. Dem Säugetier gleich, besteht es aus insgesamt acht Schichten, die in zwei Abschnitte aufgeteilt werden können. Es gibt einen lichtempfindlichen Abschnitt, die Pars optica, und einen lichtunempfindlichen Abschnitt, die Pars ceaca. Die Ora serrata bildet hier den Übergang der beiden, wie auch den Übergang des Corpus ciliare und der Choroidea. Der lichtunempfindliche Abschnitt befindet sich auf der Hinterfläche der Iris bis zum Corpus ciliare. Er ist mit dem darunter liegenden Gewebe fest verbunden. Die Pars optica hingegen liegt dem Pigmentepithel der Retina nur locker auf und wird lediglich durch den Druck des Bulbus in Position gehalten (MARTIN, 1985; REESE et al., 2008). Im Vergleich zu anderen Tierarten ist die Retina von Vögeln vergleichsweise dick, da sie sehr viele Nervenzellen und Verbindungen zwischen den Nervenzellen besitzt (SLONAKER, 1918; FRANZ, 1934; MARTIN, 1985).

Es gibt unterschiedliche Typen von Sehzellen auf der Retina der Spezies Vogel. Man unterscheidet Stäbchenzellen, Zapfenzellen und Zwillingszapfen. Die Stäbchenzellen dienen als Rezeptoren in der Nacht oder bei schwachen Lichtverhältnissen in der Dämmerung. Man nennt dieses Sehen auch skotopisches Sehen. Die Zapfenzellen hingegen sind für das Sehen bei Tag oder auch für das Farbsehen verantwortlich, das sogenannte photopische Sehen. Die Funktion der Zwillingszapfen ist nicht

geklärt. Sie liegen sehr eng beieinander (SLONAKER, 1918; FRANZ, 1934; BEZZEL, 1990; FREWEIN & SINOWATZ, 2004).

Rhodopsin mit einem Absorptionsvermögen von 490-506 nm ist genau wie bei den Wirbeltieren und damit auch Säugetieren das Sehpigment der Stäbchenzellen, da ihre Funktion das Hell- und Dunkelsehen betrifft, sind sie besonders bei nachtaktiven Vögeln anzutreffen. So findet man im Gegenzug bei tagaktiven Vögeln besonders die Zapfenzellen und die wenigen Stäbchen peripher angeordnet in der Netzhaut. Eine Besonderheit der aviären Retina stellen die farbigen Öltröpfchen der Zapfen dar. Die Farbe kommt durch die mit Futter aufgenommenen Carotinoide zustande, die sich im gelösten Zustand in den Zapfenzellen anlagern. Es gibt fünf unterschiedliche Arten der Öltröpfchen, welche jeweils ein anderes Absorptionsmaximum aufweisen. Licht mit einer hohen Wellenlänge kann ungehindert in das Gewebe eintreten, da das kurzwellige Licht durch die Öltröpfchen absorbiert wird. Dies ist der Grund warum Vögel auch in der Lage sind, ultraviolettes Licht wahrnehmen zu können (MARTIN, 1985; BEZZEL, 1990). Es gibt auf der Netzhaut einige Stellen, die dicker sind als andere Stellen auf der Retina. Man bezeichnet diese Bereiche als Areae. Die Zapfenzellen liegen hier dicht beieinander. Foveae wiederum sind Bereiche, die in den Areae, welches der Ort der höchsten Auflösung ist, liegen. Die Zapfenanzahl ist dort nochmals höher. Die Netzhaut ist in diesem Bereich wiederum sehr schmal, da sich dort fast nur Zapfenzellen befinden. Vom Sehnerv aus geht zu jeder Zapfenzelle eine eigene Faser des Sehnerves (PUMPHREY, 1960). Das Haushuhn besitzt eine runde Areae sehr nah der optischen Achse (Area centralis). Im Gegensatz zu anderen Vogelarten fehlt hier die dazugehörige Fovea.

In der Retina gibt es eine rundliche Aussparung durch die der Sehnerv (Nervus opticus) in das Auge eintritt. Der Augenfächer (Pecten oculi) verdeckt diesen jedoch meistens. Eine konsensuelle Pupillenreaktion wird durch das Überkreuzen der Sehnervenfasern zur entgegengesetzten Seite, anders als bei den Säugetieren, im Chiasma opticum verhindert (FREWEIN & SINOWATZ, 2004; REESE et al., 2008).

2.1.2 Akkommodation und Sehleistung

Die Akkommodation des Auges dient der Scharfstellung und der Erhöhung der Brechkraft, um Dinge in unterschiedlichen Entfernungen klar sehen zu können. Wenn das Auge akkommodiert dient dies der Naheinstellung von Objekten, da im Ruhemodus immer eine Ferneinstellung vorliegt (BEZZEL, 1990). Die Leistung der Akkommodationsfähigkeit bei Vögeln ist unterschiedlich. Die meisten Vögel haben eine Akkommodationsbreite von 20 Dioptrien, tauchende Wasservögel ungefähr 40-80 Dioptrien. Am wenigsten scharf können Eulenvögel sehen, ihre Akkommodationsbreite liegt bei lediglich zwei bis acht Dioptrien (MARTIN, 1985; SEIDEL, 1988; KORBEL, 1994).

Vögel können auf unterschiedliche Art und Weise akkommodieren. Die lentikuläre Akkommodation kommt durch die Kontraktion des Musculus ciliaris posterior zustande. Die Linse wird dabei durch Drücken des Corpus ciliare gegen den Ringwulst verformt. Die korneale Akkommodation verändert die Krümmung der Kornea durch Kontraktion des Musculus ciliaris anterior. Diese Form der Akkommodation kommt besonders bei nachtaktiven Vögeln vor, dementsprechend ausgeprägt ist der Muskel bei diesen Tierarten. Für die exakte Feineinstellung ist die retinale Akkommodation verantwortlich. Die Muskelfasern der Aderhaut können die Netzhaut zurückziehen und somit die retinale Akkommodation bewirken (MARTIN, 1985; KORBEL, 1994; REESE et al., 2008).

Die Akkommodationsfähigkeit beim Huhn liegt bei 15-17 Dioptrien. 8-9 Dioptrien davon kommen durch korneale Akkommodation (SCHAEFFEL & HOWLAND, 1987; GLASSER et al., 1994) die restlichen Dioptrien durch lentikuläre Akkommodation zustande (GLASSER et al., 1995). In einer Studie zum Verhalten von Hühnern wurde eine Distanz von ein bis zwei Metern beschrieben, bei der Hühner tatsächlich scharf sehen können. Über diese zwei Meter hinaus konnten Reize nicht mehr wahrgenommen werden, ihre Akkommodationsbreite reichte hierfür nicht aus. Doch muss man diese Daten auch in Verbindung mit der Lichtintensität bringen. Je heller die Lichtintensität, desto schärfer konnten die Tiere sehen (KRISTENSEN, 2004). In einer anderen Studie wurde bei Legehennen belegt, dass bei Lichtbedingungen von weniger als sechs lux die Lokomotion im Stall stark beeinträchtigt war. Hier untersuchte man die Bewegung der Hennen im Stall beim Wechseln verschiedener horizontaler Sitzstangen (TAYLOR et al., 2003).

2.1.3 Visuelle Perzeption

Die Beleuchtung ist ein komplexes Thema, da Licht aus mehreren Komponenten besteht wie zum Beispiel Photoperiode, Lichtintensität und Wellenlänge.

Die Photoperiode wird definiert als eine bestimmte Länge der Belichtungszeit eines definierten Tages oder auch als Muster des täglichen Beleuchtungswechsels.

Die Lichtintensität wird auch als Leuchtkraft beziehungsweise Lichtstrom bezeichnet. Sie gibt die erzeugte Lichtmenge einer Lampe an. Die Einheit wird in Lumen (lm) bei Lampen angegeben, welche rundum Licht abgeben. Bei Reflektorlampen spricht man von der Einheit Candela (cd).

Der geringste Abstand zwischen zwei Punkten derselben Phase wird als Wellenlänge bezeichnet. Unter derselben Phase versteht man, wenn die Punkte im zeitlichen Ablauf dieselbe Auslenkung und dieselbe Richtung der Bewegung haben. Sie steht analog zur zeitlichen Periodendauer (FREUDIG, 2006).

Sämtliche Gegenstände von denen Licht ausgeht werden als Lichtquelle bezeichnet. Man unterscheidet hierbei direkte Lichtquellen, in denen Licht direkt erzeugt wird, und es gibt indirekte Lichtquellen wie zum Beispiel Planeten oder Lebewesen, die das Licht anderer Lichtquellen nur weitergeben (FREUDIG, 2006).

Besonders ist ebenfalls die visuelle Wahrnehmung der Vögel, denn sie, hierunter auch das Haushuhn, haben eine sehr viel höhere spektrale Wahrnehmung als zum Beispiel der Mensch. Ihre Perzeption liegt im Ultraviolettbereich des Lichtspektrums mit einer Wellenlänge von 320 – 420nm, welche der Mensch bereits nicht mehr wahrnehmen kann. Vögel sind daher zum tetrachromen Sehen befähigt (BOWMAKER & KNOWLES, 1977; CHEN et al., 1984; BENNETT et al., 1994; OSORIO et al., 1999). JONES et al. (1999) unterstützt diese These mit einer Verhaltensstudie bei der die sexuelle Aktivität von Hühnern unter UV-angereichertem Licht deutlich größer ist. Die Ursache für die Fähigkeit des tetrachromen Sehens liegt in der Transparenz von der Hornhaut, der Linse und den in der Netzhaut liegenden Öltröpfchen, welche absorbierte Strahlung von kurzer Wellenlänge mit den Sehfärbstoffen in Kontakt treten lassen. Neben einer UV-sensiblen Netzhaut besitzen Vögel auch eine funktionelle UV-Sehfähigkeit (CANTON, 2010).

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Lichtprogramme getestet, um die Leistung der Tiere im Hinblick auf Produktion zu optimieren. Jedoch muss neben der Produktionsleistung ebenso auf die Gesundheit wie auch auf das Wohlbefinden der Tiere geachtet werden. Wichtig bei der Auswahl des Lichtprogrammes ist nicht nur die Dauer der Photoperiode, sondern auch die Aufteilung und Dauer des Lichtes (WEISE, 2008).

Vor einiger Zeit war es nicht ungewöhnlich, dass die Hühner langen Dunkelperioden ausgesetzt waren, da man davon ausging, dass die Tiere dadurch deutlich an Körpermasse zunehmen und sich insgesamt ruhiger verhalten. Das Tierschutzgesetz verbietet jedoch heutzutage diese Art von Beleuchtungsdauer. Es müssen zum Wohl des Tieres zirkadiane Rhythmen eingehalten werden (siehe rechtlicher Rahmen). In der heutigen Zeit werden hauptsächlich konventionelle Lichtprogramme mit einem 24 Stunden-Rhythmus gefahren, welche aus einer Tag- und Nachtphase bestehen (Photo- und Skotoperiode).

Alternativ zum konventionellen Lichtprogramm mit einem Rhythmus von 24 Stunden und einer fest definierten Dunkel- und Hellperiode, gibt es intermittierende Programme, die wiederholte Male während einer Photo- und Skotoperiode eine definierte Dunkel- und Hellphase durchlaufen. Sie liefern teilweise bessere Ergebnisse im Gegensatz zur Dauerbeleuchtung (CLASSEN et al., 2004). Eine Aktivitätssteigerung der Tiere während der Photoperiode kann bei Lichtprogrammen mit einer festgelegten Dunkelphase bis kurz vor der Schlachtung beobachtet werden (SANOTRA et al., 2002). Aus diesen Lichtprogrammen resultiert eine bessere Skelettgesundheit, jedoch wirkt sich die Helligkeit negativ auf das Fangen vor der Schlachtung aus. Hier kommt es vermehrt zu Schäden am Schlachttier.

2.1.4 Lichtbedingte Erkrankungen des Auges in der Broilermast

Licht kann zweifelsohne das Verhalten und die Physiologie hinsichtlich Wohlbefinden und Produktivität bei tagaktiven Tieren beeinflussen. Die meisten studienbasierten Daten befassten sich mit den Effekten der Länge der Lichtdauer und diversen Lichtprogrammen (OLANREWAJU et al., 2006). Die Lichtintensität wird in kommerziellen Geflügelställen oft unter 10 lux gesenkt, um die Aktivität der Tiere zu

senken, die Futteraufnahme zu erhöhen und um Energie zu sparen (APPLEBY et al., 1992).

RAULT et al. (2016) sieht die Auswirkung auf das Wohlergehen der Hühner aufgrund von morphologischen Veränderungen des Auges hinsichtlich des Sehens ungeklärt. Es ist schwierig die optimale Lichtintensität für das Wohlbefinden der Tiere festzulegen, da sie in den jeweiligen Altersstufen unterschiedliche Präferenzen haben. Beispielsweise bevorzugen zwei Wochen alte Hühner die hellste Lichtintensität von 200 lux, während Hühner im Alter von sechs Wochen den dunkelsten Bereich mit circa sechs lux bevorzugen (DAVIS et al., 1999). Dies entspricht der erhöhten Inaktivität von älteren Tieren, die dunklere Bereich den hellen bevorzugen (NEWBERRY et al., 1985). Jedoch scheint dies widersprüchlich zu den Vorgaben der Tierschutznutztierhaltungsverordnung zu sein, gemäß derer in allen Altersstufen eine Lichtintensität von mindestens 20 lux bestehen muss.

BLATCHFORD et al. (2012) stellt fest, dass die Lichtintensität eine große Bedeutung bei der Entwicklung der Augen spielt. In anderen Studien wird dargestellt, dass ein Tag-Nacht-Rhythmus ebenso Einfluss auf die Augenstrukturen hat (LAUBER & KINNEAR, 1979; OSOL et al., 1986; NICKLA et al., 1998; NICKLA, 2013; NICKLA & TOTONELLY, 2016). Im Folgenden sind verschiedene Krankheitskomplexe beschrieben, welche mit einer Erhöhung oder Erniedrigung der Lichtintensität einhergehen.

Erste Studien bei Hühnern, die unter kontinuierlich anhaltender Lichtdauer und Intensität gehalten wurden, zeigen, dass eine Haltung unter dauerhaftem Kunstlicht zu einem lichtinduzierten Glaukom führen kann (JENSEN & MATSON, 1957). Unter diesem Gesichtspunkt wurden über die Jahre Studien, vor allem über das Offenwinkelglaukom durchgeführt. Dieser Krankheitskomplex wurde unter dem Namen „light induced avian glaucoma“ bekannt (LAUBER, 1987). Allerdings ist es aufgrund unterschiedlicher anatomischer Strukturen, sowie auch physiologischer Besonderheiten des Auges bei Vögeln, nicht möglich die Pathogenese des Glaukomkomplexes von der Humanmedizin auf die Veterinärmedizin zu übertragen (WALDE, 1984).

Bei einem lichtinduzierten aviären Glaukom kommt es zu diversen Veränderungen in der Morphologie des Vogelauges. Der Bulbus vergrößert sich und entwickelt sich zu

einem Buphthalmus (LAUBER et al., 1961). Die vordere Augenkammer entwickelt sich weniger stark, die Kornea flacht ab und der Augeninnendruck steigt an, da das Kammerwasser durch einen verengten Kammerwinkel nicht mehr ungehindert abfließen kann (LAUBER & MCGINNIS, 1966; SMITH et al., 1969). Weitere Veränderungen können an der hinteren Augenwand auftreten. Sowohl die Schichten der Retina, als auch die der Choroidea und Sklera können atrophieren (BRAUN, 1995; LI et al., 1995). Bereits nach 30 Tagen ist ein Buphthalmus diagnostizierbar, der gestörte Abfluss des Kammerwassers ist allerdings erst Wochen später erkennbar. Ein Anstieg des Augeninnendruckes wird in der Literatur erst ab der 16. Woche beschrieben (LAUBER, 1987). Neben den beschriebenen Veränderungen kann es zu weiteren ophthalmologisch-pathologischen Veränderungen wie Netzhautablösung oder auch Kataraktbildung kommen. Die Zellen des Glaskörpers verknöchern mit circa eineinhalb Jahren, so dass die Vögel mit einem „aviären lichtinduzierten Glaukom“ ihre vollständige Sehkraft im Alter von 24 Monaten verlieren (LAUBER & MCGINNIS, 1966; CHIU et al., 1975a). Die Veränderungen in Größe und Gewicht der Augen lassen sich auf eine Akkumulation von Flüssigkeit im hinteren Augensegment zurückführen (SMITH et al., 1969).

Die Frage, warum der Augeninnendruck nach 16-20 Wochen ansteigt ist noch nicht abschließend geklärt. Ebenso ungeklärt ist die Frage was die Hauptursache der Vergrößerung des Bulbus darstellt (WHITLEY et al., 1985; LAUBER, 1991). Es gibt Thesen, die die Entstehung des lichtinduzierten Glaukoms erklären könnten. Hierzu zählen der Einfluss, der von der Nebenniere produzierten Glukokortikoide (OISHI & LAUBER, 1986), oder der von der Schilddrüse produzierten Hormone (LAUBER, 1982). Ebenso wird die Wirkung von Gonadotropinen (OISHI & LAUBER, 1986) für die Entstehung des LIAG's diskutiert, wie auch die von Melatonin (LAUBER et al., 1986). Weiterhin ungeklärt bleibt die Frage, ob es sich bei dem „aviären lichtinduzierten Glaukom“ um ein Winkelblock- oder um ein Offenwinkelglaukom handelt (LAUBER, 1987).

Ebenso zu den lichtbedingten Erkrankungen des Auges gehört der „dim light-induced macrophthalmos“. Hierbei handelt es sich um einen Komplex, der im Gegensatz zum lichtinduzierten Glaukom auf eine Haltung in vermehrter Dunkelheit zurückzuführen ist. Die Veränderungen bei verringerter Lichtintensität belaufen sich auf eine Vergrößerung des Bulbus, eine Abflachung der Kornea und eine Atrophie der

Augenhüllen. Zudem entwickeln die Hühner eine Myopie (Kurzsichtigkeit) (HARRISON et al., 1968; JENKINS et al., 1979; LAUBER & KINNEAR, 1979; STONE et al., 1995; OLANREWAJU et al., 2006; DEEP et al., 2010; BLATCHFORD et al., 2012; RAULT et al., 2016). Werden Hühner unter verringerter Lichtintensität gehalten, aber ein Tag-Nacht-Rhythmus eingehalten, so entstehen ebenfalls Veränderungen, die dem „dim light-induced macrophthalmos“ gleichen. Die Augen werden nachweislich, je nach Hühnerart, ab der sechsten Woche größer und der Durchmesser des Bulbus steigt an. Es kommt hierbei aber nicht zu einem Anstieg des intraokularen Druckes und die Hornhaut sowie das Glaskörpervolumen bleiben gleich (HARRISON et al., 1968; LAUBER & KINNEAR, 1979; OISHI & MURAKAMI, 1985). In einer einzigen Studie wird ein vorübergehender Anstieg des Augeninnendruckes durch eine Haltung in kontinuierlicher Dunkelheit bei Hühnern hervorgerufen. Dieser Anstieg verschwindet aber bereits nach der sechsten Woche und der Augeninnendruck vermindert sich im Gegensatz zu Hühnern, welche unter normalen Lichtbedingungen gehalten werden (JENKINS et al., 1979).

OLANREWAJU et al. (2016) kann in seiner Studie, in der fünf lux mit 20 lux verglichen werden, keine statistisch auswertbaren Unterschiede hinsichtlich Gewicht, Anatomie oder Histopathologie ausfindig machen. Die Untersuchungs- und Alterszeitpunkte sind mit oben genannten Studien vergleichbar, jedoch wird die Intensität nicht an Tag fünf verringert, sondern erst ab Tag 22 umgestellt. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen könnte daher auf der beschleunigten Entwicklung in den ersten Lebenswochen zurückzuführen sein (RAULT et al., 2016).

In einer anderen Studie mit Masthähnchen von OLANREWAJU et al. (2012), bei der ebenfalls verringerte Lichtintensitäten von 0,5, fünf und zehn lux ab Tag sieben angewendet werden, fällt ein höheres Augengewicht auf. Allerdings ist dieses, in Relation zum Körpergewicht gesetzt, nicht verändert.

Es gibt mehrere Studien, die zeigen, dass eine dauerhaft zu hohe oder eine zu geringe Beleuchtung im Stall zu einer Vergrößerung der Augen führen kann. Jedoch kann nicht immer eine Ursache für diese Veränderungen, wie beim „dim light-induced macrophthalmos“, eruiert werden (CHIU et al., 1975b; LAUBER & KINNEAR, 1979). Die Hühner werden in diesen Studien allerdings nicht immer komplett unter verminderter Lichtintensität gehalten, sondern tragen teilweise uni- oder bilaterale Kontaktlinsen, Brillen oder ihnen wird das Augenlid zugenäht, um Vergleiche am

selben Tier anstellen zu können (LAUBER & OISHI, 1987). Diese Versuche führen nicht immer zu einem parallelen Anstieg des Augeninnendruckes oder zu einem Buphthalmus an beiden Augen zum gleichen Zeitpunkt (WILKINSON & HODOS, 1991).

Mit den Schlagwörtern Augenvergrößerung (Makrophthalmus), Buphthalmus, Exophthalmus und transientes Glaukom können die okularen Veränderungen von Hühnern bei geringerer Lichtintensität beschrieben werden (LAUBER et al., 1965; HARRISON et al., 1968; FRANKELSON et al., 1969; SMITH et al., 1969). Während das Tier und somit auch das Auge heranreift, erreicht der Bulbus seine maximale Elastizität und der Augeninnendruck steigt an (JENKINS et al., 1979).

2.1.5 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Bedingungen hinsichtlich der Haltung, explizit der Lichtbedingungen, von Masthähnchen werden in diversen Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen festgelegt. Zu nennen wäre zuerst das deutsche Tierschutzgesetz (TierSchG) mit dem Grundsatz, dass niemand *„einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen“* darf (Paragraph 1, TierSchG). Ebenso muss *„aus der Verantwortung des Menschen für das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen“* oberstes Ziel sein. In Paragraph 2, TierSchG wird weiter auf die Haltung und Betreuung der Tiere eingegangen. Demnach muss jeder, der ein *„Tier hält, betreut oder zu betreuen hat ...das Tier seiner Art und seinen Bedürfnissen entsprechend angemessen ernähren, pflegen und verhaltensgerecht unterbringen...und über die...erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten verfügen.“* Die Richtlinie 2007/43/EG mit Mindestvorschriften zum Schutz von Masthühnern und die Richtlinie 98/58/EG über den Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere wurden bereits 2006 in nationales Recht durch die Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung - TierSchNutztV) umgesetzt. Diese gilt für sämtliche Betriebe, die mehr als 500 Masthähnchen halten. Bezüglich Lichtbedingungen muss Paragraph 4, TierSchNutztV näher betrachtet werden. Dieser regelt die Allgemeinen Anforderungen an Überwachung, Fütterung und Pflege. Demnach wird unter Punkt fünf und sechs festgelegt, dass *„vorhandene*

Beleuchtungs-, Lüftungs- und Versorgungseinrichtungen mindestens einmal täglich...auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft werden, oder andere Vorkehrungen zum Schutz der Gesundheit der Tiere getroffen werden.“ Die Anforderungen an das Halten von Masthühnern werden in Abschnitt vier niedergeschrieben. In Paragraph 18 (5), TierSchNutzTV steht: *„Masthühnerställe müssen mit Lichtöffnungen für den Einfall natürlichen Lichtes versehen sein, deren Gesamtfläche mindestens 3 Prozent der Stallgrundfläche entspricht und die so angeordnet sind, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Lichts über die gesamte Stallgrundfläche gewährleistet ist.“* Paragraph 19, TierSchNutzTV beschreibt weiter, dass während der Lichtstunden eine minimale Lichtintensität von 20 lux gegeben sein muss, welche in Kopfhöhe der Tiere gemessen wird, *„wobei mindestens 80 vom Hundert der Masthühnernutzfläche ausgeleuchtet sein müssen“*.

Weiter wird beschrieben, dass maximal sieben Tage nach Einstellung der Tiere und bis zu drei Tagen vor dem Schlachtermin ein Lichtprogramm gefahren werden muss, welches, *„ sich am natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus orientiert und mindestens eine sechsstündige ununterbrochene Dunkelperiode gewährleistet, wobei Dämmerlichtperioden nicht berücksichtigt werden“*. Abschließend steht in diesem Abschnitt, dass *„eine zeitweise Einschränkung der Lichtintensität oder die vorübergehende wesentliche Einschränkung des Einfalles des natürlichen Lichtes ist nur nach tierärztlicher Indikation zulässig“* ist.

2.2 Sonographie

2.2.1 Historischer Überblick der dreidimensionalen Sonographie in der Veterinärophthalmologie

Die Technik des dreidimensionalen Ultraschalls wurde in der Veterinärophthalmologie bis jetzt nur in fünf Studien beschrieben. Die Tierarten belaufen sich auf Hund, Pferd, Reptil und Vogel.

In einer Studie von REESE (1999) werden dreidimensionale Datenvolumina der Augen an Pferden, Mäusebussarden und Hunden erhoben. Diese werden mittels eines 12 MHz- Linearschallkopfes und einem üblichen Ultraschallgerät im Jahre 1999 durchgeführt.

2002 veröffentlicht List ihre Dissertation zum Thema „Dreidimensionale Sonographie am Pferdeauge“ (LIST, 2002). Die Aufnahmen entstehen mithilfe eines 9 MHz-Linearschallkopfes und einem humanmedizinischem Ultraschallegerät. Sie nimmt in ihrer Studie Datenvolumina physiologischer und pathologischer Befunde auf, die mittels üblichem B-Mode Ultraschall nicht möglich sind. Hiermit können neuartige Ebenen evaluiert werden. List sieht diese Möglichkeit als Innovation der Veterinärophthalmologie an.

In der Studie von VOSOUGH et al. (2007) werden die gesunden Augen von Hunden untersucht und gleichzeitig die Dicke der Sehnervenscheiden vermessen. Die Augen werden mittels einer fünf bis 12 MHz-Linearschallkopfsonde untersucht und mit Hilfe eines handelsüblichen Ultraschallgerätes dreidimensional dargestellt. Die Messergebnisse sind hierbei deutlich genauer als die Ergebnisse der Computertomographie.

2013 erscheinen zwei Doktorarbeiten über den Einsatz der dreidimensionalen Sonographie am Vogelauge (DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013). In diesen Arbeiten wird vor allem Wert auf die Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer und pathologischer Befunde am vorderen sowie hinteren Augensegment, gelegt. Die Studie erfasst hierbei circa 100 Vögel darunter sowohl Papageien-, Zoo-, Wild- als auch Greifvögel.

2014 wird der erfolgreiche Einsatz und der Nutzen der dreidimensionalen Sonographie an Augen verschiedener Reptilienspezies (Schildkröten, Echsen und Schlangen) demonstriert (LIEPERT et al., 2014).

2.2.2 Physikalische und technische Grundlagen

2.2.2.1 Physikalische Grundlagen

Die Sonographie als Hilfsmittel für die Diagnostik zählt zu den bildgebenden Verfahren, welches sehr verbreitet und allgemein akzeptiert ist.

Schallwellen oberhalb von 20.000 Hz werden als Ultraschall bezeichnet. Hierbei stellt die Frequenz des Schalles die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde dar. Die Sonographie basiert auf dem Prinzip der Reflexion. Während der Untersuchung

werden Schallwellen in ein anderes Medium entsendet. Treffen diese dort auf ein Hindernis, kehren verschieden große Anteile der Energie als reflektierte Wellen zurück zur Basis. Dieses Phänomen bezeichnet man als Echo (GÖTZ, 1983; GLADISCH, 1993; BYRNE & GREEN, 2002a). Longitudinale Wellen sind charakteristisch für Ultraschallwellen, die immer an Materie gebunden sind. Sie haben eine Frequenz von einem bis zehn MHz, manchmal sogar bis zu 20 MHz (POULSEN NAUTRUP, 1998d).

Trifft eine Ultraschallwelle auf verschiedene Medien, kann es zu unterschiedlichen Interaktionen kommen. Im Folgenden werden diese Schallphänomene besprochen.

- Reflexion

Wenn Schallwellen senkrecht auf eine Grenzfläche zweier Medien treffen, die einen unterschiedlichen Schallwiderstand aufweisen, wird dies als Reflexion bezeichnet (FARROW, 1996; POULSEN NAUTRUP, 1998d). Je größer die Impedanzänderung ist, umso größer ist der Anteil der reflektierten Schallwellen. Bei Grenzflächen von Luft oder Knochen ist der Impedanzunterschied am größten, sodass dort eine große Reflexion bis hin zur Totalreflexion auftritt (GÖTZ, 1983; FLÜCKIGER, 1990; POULSEN NAUTRUP, 1998d).

- Absorption

Durch unterschiedliche Gewebswiderstände kommt es beim Durchdringen der Ultraschallwellen durch verschiedene Medien zu einer Umänderung von mechanischer Energie in Wärmeenergie. Daraus resultiert eine Schallabschwächung, welche von der Temperatur, Frequenz und Viskosität abhängt (GLADISCH, 1993; BYRNE & GREEN, 2002a). Nach Poulsen Nautrup ist der absorbierte Anteil mit zunehmender Frequenz größer, sodass sich die Eindringtiefe reduziert (POULSEN NAUTRUP, 1998d).

- Streuung

Streuung entsteht durch Schallwellen, die auf ein inhomogenes Medium treffen (raue Oberflächen), das heißt, die Schallgrenze ist hierbei kleiner als die ausgesendete Wellenlänge. Die Schallwellen breiten sich in alle Richtungen ungerichtet aus. Folge davon ist ein Energieverlust. Die Streuung wird umso größer, je höher die ausgesendete Schallfrequenz ist (GLADISCH, 1993; POULSEN NAUTRUP, 1998d).

- Beugung

Beugung entsteht, wenn Ultraschallwellen nach dem Passieren eines Hindernisses im Gewebe abgelenkt werden. Diese Objekte, die kleiner als die Wellenlänge des Ultraschalls sind, bilden ein artifizielles Beugungsmuster, welche für jedes Organ spezifisch ist (GÖTZ, 1983).

- Brechung

Schallwellen werden an Grenzflächen gebrochen. Das heißt, wenn die Schallwellen von einem Medium in ein anderes Medium gesendet werden und die Schallwellen nicht senkrecht auf die Grenzfläche treffen, kommt es zu einer geänderten Richtung der Schallausbreitung (GLADISCH, 1993). Bei kleinen Impedanzunterschieden und nicht reflektierten Schallwellen können diese ihren Weg in das nachfolgende Gewebe fortsetzen. Sie werden transmittiert (POULSEN NAUTRUP, 1998d).

2.2.2.2 Technische Grundlagen

- Erzeugung und Empfang von Schallwellen

Im Schallkopf des Ultraschallgerätes befinden sich im oberen Teil ein oder mehrere piezoelektrische Kristalle, welche Ultraschallwellen bei elektrischer Wechselspannung erzeugen, indem sie sich verformen. Sie können aus Titanaten, Quarzen oder Zirkonaten zusammengesetzt sein (POULSEN NAUTRUP, 1998c). Die reflektierten Schallwellen, die dann zurückkehren, führen wiederum zu einer Verformung des Kristalls, welche in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Dieses Signal wird dann sichtbar gemacht und ein zwei-, beziehungsweise dreidimensionales Bild entsteht. Der Kristall dient hierbei sowohl als Sender als auch

als Empfänger (FEIBEL, 1978; LIZZI & FELEPPA, 1979; RANTANEN & EWING, 1981).

- Schallstrahlgeometrie und Fokussierung

Als Schallkeule wird die Form oder Geometrie des Schallfeldes bezeichnet. Diese Keule kann in mehrere Zonen gegliedert werden. In der Mitte liegt die Fokuszone, an welches das konvergierende Nahfeld Richtung Schallkopf anknüpft und in der entgegengesetzten Richtung befindet sich das divergierende Fernfeld (RANTANEN & EWING, 1981; GLADISCH, 1993; POULSEN NAUTRUP, 1998c).

In der Fokuszone ist die Auflösung des Ultraschallbildes am Höchsten. Dies kommt durch weiträumige Schallquellen und erhöhte Frequenzen, welche zu einer Bündelung führen, ebenso wie durch eine Intensitätssteigerung zustande (FARROW, 1996). Man kann den Fokus auch durch Elektrizität oder Mechanik beeinflussen. Das Objekt des größten Interesses sollte mittig in der Fokuszone liegen, um eine gute Bildqualität zu erzielen.

- Preprocessing

Hierunter versteht man die Möglichkeit, Änderungen von bestimmten Einstellungen an den Signalen des Ultraschalls vorzunehmen, die vor der Aussendung der Schallwellen stattfindet (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

1. Frequenz

Eindringtiefe und die Qualität der Bilddarstellung können mittels der Frequenz verändert werden. Eine niedrige Frequenz ermöglicht eine höhere Eindringtiefe, da hier eine geringere Absorption stattfindet. Die Bildqualität ist jedoch deutlich schlechter. Bei einer hohen Frequenz ist es genau anders herum.

2. Gesamtverstärkung (Gain)

Die Gesamtverstärkung (Gain) wird in der Einheit Dezibel (dB) gemessen. Aus allen Gewebetiefen kann eine Verstärkung des Echos erfolgen. Dies geschieht durch Veränderung der Intensität des Echos, welche auf dem Bildschirm dargestellt werden. Die Energie, die vom Schallkopf ausgesendet wird, bleibt aber unverändert. Ein schwaches Signal kann durch Erhöhung des Gainfaktors gut dargestellt werden.

Dies wirkt sich nachteilig auf die Bildqualität aus, was sich in Artefakten und einem geringeren Kontrastumfang zeigt, sodass der Gain so niedrig wie möglich gehalten werden sollte. Flüssigkeitsgefüllte Strukturen sollten anechogen dargestellt werden und das gesamte Bild soll gleichmäßig hell beleuchtet sein, wenn es um die Einstellung des Gainfaktors geht (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

3. Zeitabhängige Verstärkung

Die zeitabhängige Verstärkung oder auch TGC (time gain compensation) oder TCG (time compensated gain) spielt eine große Rolle bei der Darstellung tiefliegender Strukturen. Im Gegensatz zu oberflächlichen Gewebeschichten wird durch Reflexion, Streuung und Absorption das Echo in schallkopffernen Strukturen schwächer abgebildet. Mittels Tiefenausgleichregler können nachfolgende Echos verstärkt werden und es lässt sich ein besseres Bild darstellen. Dies geschieht unter anderem durch Erhöhung der Bildunschärfe und Verringerung des Kontrastes (GÖTZ, 1983; POULSEN NAUTRUP, 1998c).

4. Enhancement

Um bestimmte Strukturen im Bild hervorzuheben, wird die Enhancement Funktion eingesetzt. Diese kann die Echos gewisser Reflexionsqualitäten verstärken (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

5. Dynamik

Der Dynamikbereich wird als Bereich zwischen dem schwächsten und stärksten Echo definiert. Die Ultraschallintensität wird hiermit gemessen. Bei einer geringen dynamischen Breite stellen sich weniger Graustufen dar und das Bild wirkt „härter“. Bei einer großen dynamischen Breite können feinere Unterschiede dargestellt werden, das Bild wirkt „weicher“. Jedoch besitzt die Intensitätsmöglichkeit Grenzen (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

6. Bildintegration

Um feine Strukturen mit geringer Echogenität hervorzuheben, können mittels Bildintegration zwei Bilder addiert dargestellt werden. Kontrastarmut und Weichzeichnung des Bildes müssen hierbei aber in Kauf genommen werden. Die

Anwendung ist auf mehr oder weniger unbewegte Bilder beschränkt, da das Bild sonst unscharf abgebildet wird (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

- Auflösung

Limitierend für die Qualität des Ultraschallbildes ist die Auflösung. Sie wird bestimmt durch den minimalsten Abstand zwischen zwei Punkten, die auf dem Monitor gerade noch unterscheidbar sind. In der Fokuszone ist die Auflösung am besten, im Nahfeld jedoch deutlich besser als im Fernfeld. Es gibt eine axiale und eine laterale Auflösung (GÖTZ, 1983). Bei der axialen Auflösung handelt es sich um den geringsten Abstand von zwei Punkten, die eng beieinander auf einer Schallachse liegen. 0,1-1,5mm ist hierbei der Maximalwert der axialen Auflösung. Die axiale Auflösung hängt sowohl von der Länge, als auch stark von der Dauer der Impulse des Ultraschalles ab, das heißt, je kürzer der Impuls und je höher die Frequenz, desto höher ist die Auflösung (RANTANEN & EWING, 1981; GÖTZ, 1983; POULSEN NAUTRUP, 1998c).

Wenn zwei Punkte senkrecht zum Schallstrahl nebeneinander liegen und deren Mindestabstand voneinander bestimmt wird, spricht man von der lateralen Auflösung. Der Maximalwert liegt hier bei 0,6-0,3mm und liegt deutlich unter dem Wert der axialen Auflösung. Die laterale Auflösung steht in Abhängigkeit von der Eindringtiefe, der Schallkopfgeometrie und der Frequenz, also der gesamten Schallkeule. Die laterale Auflösung ist umso höher, je dünner der Schallstrahl (GÖTZ, 1983; GLADISCH, 1993; POULSEN NAUTRUP, 1998c).

- Transducer

Durch unterschiedliche Anordnung der piezoelektrischen Kristalle lassen sich insgesamt drei verschiedene Formen von Transducern unterscheiden. Es handelt sich hierbei um den Konvexschallkopf, den Sektorschallkopf und den Linearschallkopf. Letztgenannter wird auch Parallelschallkopf genannt (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

Im Folgenden wird näher auf den Linearschallkopf eingegangen, da dieser in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kommt.

Es handelt sich bei diesem um eine Multikristallsonde. Die darin enthaltenen piezoelektrischen Elemente sind parallel zueinander angeordnet. Diese werden gruppenweise bei einem Impuls aktiviert und eingeschaltet (GLADISCH, 1993). Anschließend wird beim darauffolgenden Impuls alles um ein Element verschoben. Der Vorteil der Sonde liegt daher im hohen Auflösungsvermögen (laterale Auflösung) und einer sehr guten Schallfeldgeometrie. Ebenso liegt der Vorteil in der großen Schnittfläche und der simplen Handhabung. In allen Gewebetiefen kann eine gute Bildqualität erzielt werden, unterschiedliche Fokussierungen sind durch die gruppenweise Aktivierung der Elemente möglich. Der Nachteil der Linearsonde ist jedoch die sehr große Auflagefläche auf den beispielsweise kleinen Augen (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

2.2.3 Untersuchungsverfahren und dreidimensionale Sonographie

Es gibt mehrere Verfahren, wie das A-Mode, B-Mode- und M-Mode-Verfahren, welche der diagnostischen Ultraschalluntersuchung zur Verfügung stehen. Letzteres ist eine spezielle Form des B-Mode. Zur Wiedergabe von Bewegungsabläufen steht das real-Time-Verfahren an erster Stelle. Es hat das Compound-Verfahren, welches statische Bilder wiedergegeben hat, weitgehend abgelöst. Durch die Rekonstruktion von Bildern aus dem B-Mode entsteht das dreidimensionale Ultraschallbild mithilfe der Real-Time B-Mode-Technik (POULSEN NAUTRUP, 1998c; BYRNE & GREEN, 2002a).

In dieser Arbeit wird das Real-Time-Verfahren im B-Mode in Verbindung mit einer Linearsonde angewendet.

Bei diesem Verfahren werden Schallwellen in die zu untersuchende Struktur entsendet. Der Empfänger registriert die zurückkommenden Echos und verarbeitet diese. Auf dem Monitor erscheinen die Echos, die als Punkte dargestellt werden. Sie gehen ineinander über, sodass ein zweidimensionales Bild entsteht. Die Grenzflächen des zu untersuchenden Gewebes werden durch die jeweilige Lage der Punkte dargestellt. Je höher die Intensität des Echos ist, welches zum Empfänger gesendet wurde, desto heller erscheinen die Punkte im Bild. So wird beispielsweise die Kornea als stark reflektierendes Gewebe deutlich heller abgebildet als zum

Beispiel einheitliche Gewebe oder auch Flüssigkeiten. Homogene Strukturen wie der Glaskörper oder die vordere Augenkammer bilden sich im Ultraschallbild vergleichsweise dunkel ab, sie erscheinen als akustisch leere Gebiete (RANTANEN & EWING, 1981; SMITH et al., 1986; BARR, 1992).

Mit Hilfe des Real-Time-Verfahrens können bis zu 60 Einzelbilder in der Sekunde erstellt werden. Komplexe Bewegungsabläufe können durch diese hohe Frequenz und dem immer wieder neuen Aufbau des Bildes gut beurteilt werden (GLADISCH, 1993).

- 3-D-Sonographie

Die Konstruktion eines dreidimensionalen Bildes aus zweidimensionalen Ultraschallbildern erfolgt via Datenakquisition. Dies ist nur möglich, wenn die einzelnen Ultraschallschnitte in genauer Lagebeziehung zueinander stehen und die Schnitte durch drei Koordinaten in einem rechtwinkligen Koordinatensystem in ihrer räumlichen Lage definiert sind (SOHN et al., 1988). Die Schnittbilder stehen entweder über einen bestimmten Winkel oder einem gewissen Abstand miteinander in Verbindung. So gibt es die Möglichkeit der parallelen Schnittbilderfassung, der Schnittbilderfassung durch horizontale Schallkopfneigung, Schnittbilderfassung durch vertikal rotierende Schallkopfneigung und die Freihandakquisition (FENSTER & DOWNEY, 2000).

Im Folgenden wird auf die in dieser Arbeit angewendete Schnittbilderfassung durch horizontale Schallkopfneigung eingegangen.

Bei dieser Methode wird ein elektrischer Schrittmotor in einem größeren Ultraschallkopfgehäuse angewendet, welcher den Schallkopf im Gehäuse drehen kann. Der Schallkopf wird um eine horizontale Achse gedreht, damit stehen die einzelnen Ultraschallschnittbilder über einen definierten Winkel miteinander in Beziehung. Der Drehpunkt liegt hierbei innerhalb des Schallkopfes und die Ultraschallschnittbilder überlappen sich nicht. Vorteilhaft ist hierbei die zügige Erstellung des dreidimensionalen Datensatzes und die Kompaktheit des Ultraschallkopfes. Nachteilig wirkt sich die zunehmend weitere Entfernung der Schnittbilder in tieferen Lagen auf die Auflösung aus (SOHN, 1994; POULSEN NAUTRUP, 1998a; NELSON et al., 1999).

Bei der Rekonstruktion der dreidimensionalen Bilder bestimmt die Anzahl der zweidimensionalen Ultraschallschnittbilder die Größe und Auflösung des Volumenscans. Je mehr Einzelschnittbilder während der Scanzeit erfasst werden, umso größer ist diese Zeitspanne. Untersucher und Proband dürfen sich in dieser Zeit aufgrund von der möglichen Entstehung von Artefakten nicht bewegen. Auch die Eigenbewegungen der Organe sollten bei der Aufnahmezeit berücksichtigt werden. Es muss daher eine Lösung zwischen einer kurzen Scanzeit und möglichst vielen Bildern gefunden werden (POULSEN NAUTRUP, 1998c).

Mit Hilfe der voxelbasierten Rekonstruktion kann aus den einzelnen Schnittbildern ein dreidimensionales Objekt konstruiert werden (NELSON et al., 1999). Bei dieser Methode werden die einzelnen Punkte der zweidimensionalen Schnittbilder in ein Raster eingefügt, sodass jeder Punkt seinen Platz hat. Durch Mittelwerterrechnung können auch fehlende, nicht gescannte Punkte, eingefügt werden. Durch Einfügung von falschen Punkten kann sich jedoch die Auflösung verschlechtern.

Die dreidimensionalen Bilder lassen sich auf dem Monitor in unterschiedlicher Art und Weise darstellen. So lassen sich die einzelnen orthogonalen Schnittbilder in einem Vierquadrantenbildschirm, dem „Schnittebenenmodus“ darstellen. Hierbei kann das gesamte Datenvolumen untersucht werden, indem die einzelnen zweidimensionalen Ultraschallbilder aus allen erdenklichen errechneten Richtungen studiert werden. Jeder Punkt im Schnittbild kann exakt zugeordnet werden, weshalb sich pathologische Veränderungen und anatomische Lagebeziehungen leichter darstellen und diagnostiziert lassen. Mit dieser Methode lassen sich somit Schnittebenen darstellen, die mit Hilfe der zweidimensionalen Sonographie nicht möglich gewesen wären. In diesem Modus kann auch durch die einzelnen Ebenen gefächert werden und somit die maximale Ausdehnung einer Struktur sicher festgestellt werden. Diese Ausdehnung kann dann in diesem Modus mittels einer Messfunktion vermessen werden (SOHN, 1994; NELSON & PRETORIUS, 1997; DELCKER et al., 1998; POULSEN NAUTRUP, 1998a; DOWNEY et al., 2000).

Eine andere Möglichkeit der Darstellung des dreidimensionalen Datensatzes ist die Oberflächendarstellung. Hierbei werden lediglich die Konturen eines Gebildes abgebildet. Jegliche Information innerhalb der Struktur wird nicht dargestellt. Mit dieser Methode ist es möglich Organe eindeutig dreidimensional abzubilden, sobald große Unterschiede in den Ultraschalleigenschaften von Struktur und Umgebung

vorliegen (SOHN, 1994). Mit der transparenten Darstellungsweise entsteht ein komplexes, gläsernes Bild, welches sich erst dann dreidimensional darstellt, sobald es am PC gedreht wird. In ihm bleiben alle Bildinformationen vorhanden (POULSEN NAUTRUP, 1998a). Weiterhin ist es möglich, den dreidimensionalen Datensatz mittels Nischendarstellung, Röntgendarstellung oder einer Kombination aus mehreren Darstellungsoptionen wiederzugeben (DOWNEY et al., 2000; LEES, 2001). Eine zusätzliche Bearbeitung des Datensatzes mittels eines elektronischen Skalpells ist ebenso möglich, wie das Heranzoomen, Einfärben, Aufhellen und die Volumenberechnung von pathologischen Zubildungen (JENSEN & HANSEN, 1991; SILVERMAN et al., 1993; NELSON & PRETORIUS, 1997; FENSTER & DOWNEY, 2000; MERZ et al., 2000; LEES, 2001; FINGER, 2002).

In der dreidimensionalen Sonographie können verschiedene Artefakte auftreten, welche in der zweidimensionalen Sonographie keine Bedeutung haben. Zu nennen sind hier zum einen die Bearbeitungsartefakte. Man kann mittels einem „elektronischen Skalpell“ gewisse Schichten im Ultraschallbild abtragen, um Strukturen, die von großer Wichtigkeit sind, freizulegen und beurteilen zu können. Werden jedoch zu viele Strukturen beziehungsweise Informationen entfernt, entstehen Artefakte (NELSON et al., 2000). Wiedergabeartefakte, wie Schatten oder das Fehlen oder Hinzukommen bestimmter oder fälschlicher Strukturen, entstehen durch falsche Einstellungen im Anschluss an die Datenakquisition. Der Zoom, die Helligkeit oder auch die Einstellung der Schwellen- oder Grauwerte wurden hier falsch gewählt. Erfassungsartefakte entstehen während des Scans eines dreidimensionalen Volumenbildes. Durch Bewegung des Untersuchers, beziehungsweise Tieres oder durch seinen Herzschlag, falsch kalibrierte Geräte oder eine geänderte Geschwindigkeit der Datenübertragung bei einer Software ohne Positionssender, können diese Artefakte entstehen (NELSON et al., 2000).

2.2.4 Okulare Sonographie

Es bestehen mehrere Indikationen für die diagnostische Verwendung von dreidimensionalem Ultraschall. Ebenso wie beim zweidimensionalen Ultraschallbild steht die Trübung des Auges im Vordergrund. Durch sie wird verhindert, dass mittels ophthalmologischer und ophthalmoskopischer Untersuchung das gesamte Auge

eingesehen werden kann. Bei den Trübungen kann es sich um Blutungen oder auch Entzündungen handeln, die die Sicht verhindern, jedoch kann auch die Hornhaut oder die Linse an sich getrübt sein (GUTHOFF & GUTHOFF, 1987; KRAUTWALD-JUNGHANNS & NEUMANN, 1991; BYRNE & GREEN, 2002b; SCOTTY et al., 2004). Andere Indikationen für die okulare Sonographie stellen Linsenluxationen, Fremdkörper sowie diverse Läsionen, entstanden durch etwaige Traumata, dar. Umfangsvermehrungen stellen eine wichtige Indikation, besonders für die dreidimensionale Ultraschalluntersuchung dar, denn hiermit können sowohl die Größe, die Lage und das Volumen bestimmt werden. Beim dreidimensionalen Ultraschall können aber natürlich auch Trübungen, Einblutungen, Hypotonie sowie Erkrankungen, die von der Linse oder vom Ziliarkörper ausgehen, näher untersucht werden (SILVERMAN et al., 1993; CUSUMANO et al., 1998; NELSON et al., 1999; ENDO et al., 2000; GRASBON et al., 2001).

Neben der transpalpebralen Methode und der Untersuchung mittels einer Vorlaufstrecke gibt es eine weitere Methode, die Kornea-Kontakt-Methode, eine direkte Methode, welche in der vorliegenden Arbeit eingesetzt wurde (WILLIAMS et al., 1995; GONZALEZ et al., 2001). Sie steht bei der Untersuchung des aviären Auges im Vordergrund (GUMPENBERGER & KOLM, 2006; LEHMKUHL et al., 2010; STROBEL, 2010; LABELLE et al., 2012; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013).

Bei dieser Methode kann besonders der hintere Teil des Auges gut dargestellt werden. Mit ausreichend Ultraschallgel, welches die Funktion einer Vorlaufstrecke übernimmt, kann jedoch auch der vordere Teil des Auges gut abgebildet und ausgewertet werden. Steriles, industriell hergestelltes Ultraschallgel ist hierbei ebenso wie Methylzellulose ein geeignetes Ankopplungsmedium (WILLIAMS et al., 1995). Neben der Kornea-Kontakt-Methode gibt es aber auch Studien, bei der eine Vorlaufstrecke verwendet wurde (HARRIS et al., 2008; KORBEL et al., 2009).

Es gibt verschiedene Untersuchungsebenen für den dreidimensionalen Ultraschall. Die axialen, transversalen und longitudinalen Untersuchungsebenen stellen hier die wichtigsten Ebenen dar (BYRNE & GREEN, 2002). In dieser Arbeit wird die axiale Ausrichtung des Schallkopfes gewählt. Bei der longitudinalen sowie transversalen Ausrichtung wird der Schallkopf der Konjunktiven beziehungsweise der Sklera aufgelegt. Dies hat zur Folge, dass die Linse umgangen wird, um den hinteren Augenabschnitt besser darstellen zu können. In der Veterinärophthalmologie ist es

jedoch schwierig den Patienten zu einer willentlichen Bulbusrotation zu bewegen und aufgrund des Skleralringes kommt es zu Schallauslöschungen (POULSEN NAUTRUP, 1998a; GONZALEZ et al., 2001; BYRNE & GREEN, 2002c). In der vorliegenden Arbeit wird die Linearsonde ohne Vorlaufstrecke in der Mitte der Kornea zentral angekoppelt und darauf geachtet, dass die Linse und der Nervus opticus in der Bildmitte fokussiert werden. Hier wiederum zu unterscheiden sind die axiale vertikale Ausrichtung, bei der die Nase des Schallkopfes nach dorsal gerichtet ist und die axiale horizontale Ausrichtung, bei der die Schallkopfnase um 90° gedreht ist und zum nasalen Augenwinkel zeigt. Zudem gibt es noch weitere paraaxiale Schnittebenen. Im Gegensatz zur longitudinalen oder transversalen Ebene können die schallkopffernen Strukturen hinter der Linse durch die Phänomene Brechung und Dämpfung (siehe physikalische Grundlagen) und einer damit einhergehenden schlechteren Auflösung teilweise nur ungenügend dargestellt werden. Der Vorteil liegt allerdings darin, dass das Abgebildete vergleichsweise einfach zu interpretieren ist (POULSEN NAUTRUP, 1998a; GONZALEZ et al., 2001; BYRNE & GREEN, 2002d).

3 Material und Methoden

3.1 Materialbeschreibung

In diesem Abschnitt werden die Materialien der vorliegenden Arbeit beschrieben. Im ersten Abschnitt wird auf das Versuchsgut eingegangen, auf dem die Untersuchungsergebnisse basieren. Danach werden alle Untersuchungsgeräte und Verfahren, die in dieser Arbeit eingesetzt werden, erläutert.

3.1.1 Versuchsgut

Im Zeitraum von Juni bis September 2016 wurden in zwei Mastdurchgängen (Kontroll- und Versuchsgruppe) mit unterschiedlichen Beleuchtungsprogrammen insgesamt 200 Tiere (91 Tiere männlich = 51 %, 89 Tiere weiblich = 49 % (das Geschlecht der ersten 20 Tiere aus der Kontrollgruppe ist nicht bekannt)) zu verschiedenen Zeitpunkten aus dem Stall entnommen und deren Augen untersucht. Bei den Tieren handelte es sich um Masthähnchen der Linie Ross 308, eingestallt auf Dinkelspelzen, die mit einem dreiphasigen kommerziellen Alleinfuttermittel aufgezogen wurden. Zweimal täglich fand eine Kontrolle der Tiere durch das Stallpersonal statt. Auffälligkeiten wurden dokumentiert und an entsprechende Stelle weitergeleitet. Zu Beginn wurden jeweils 34.700 Tiere eingestallt. Die Besatzdichte bei Einstellung betrug 20Tiere pro m². Zum Zeitpunkt des 36. Masttages wurden ungefähr 7000 Tiere vorgegriffen, sodass zum Ende der Mast eine Besatzdichte von ungefähr 16 Tieren pro m², beziehungsweise 40,1 kg/m² herrschte. Die Schlachtung der restlichen Tiere erfolgte an Masttag 42.

Der Stall wurde 2011 in Niederbayernerbaut. Er ist 85,2 Meter lang und 20,4 Meter breit, die Stallnettofläche beträgt 1.738m².



Abbildung 1: Außenansicht des Versuchsstalles in Niederbayern



Abbildung 2: Innenansicht des Versuchsstalles in Niederbayern

Beide Mastdurchgänge, die Kontroll- und Versuchsgruppe wurden unter unterschiedlichen Beleuchtungsprogrammen gehalten. Beiden Versuchsgruppen gemeinsam waren die Leuchtmittel, bei denen es sich um dimmbare Hochfrequenz Feuchtraum Wannenleuchten handelte. Dies waren gewöhnliche flackerfreie Neonröhren mit tageslichtäquivalenten Neonspektren. Die Lichtintensität wurde an stationären Messstationen, sowie mit einem mobilen Spektrometer gemessen. Bei beiden Gruppen gab es eine Dämmerungsperiode von je 30 Minuten vor und nach der Dunkelperiode. Zu Beginn der Mast betrug die Lichtdauer für die ersten zwei Tage 24 Stunden bei beiden Gruppen. Danach betrug die Dunkeldauer täglich 1-2 Stunden bis am sechsten Tag sechs Stunden Dunkeldauer erreicht wurden. Dies wurde bis 3 Tage vor der Schlachtung fortgeführt. Die letzten 3 Tage betrug die Dunkeldauer noch lediglich 1 Stunde. Die Lichtintensität der Kontrollgruppe lag bei den gesetzlich vorgeschriebenen 20 lux, der Tageslichteinfall bei 3%.

Die Licht- und Dunkeldauer der Versuchsgruppe entsprach der der Kontrollgruppe. Lediglich die Lichtintensität variierte hier, es handelte sich um ein diskontinuierliches Lichtprogramm. Bis zum 10. Lebenstag wurde der Stall mit einer Lichtintensität von 20 lux beleuchtet, dann wurde sie schrittweise reduziert bis auf ein Minimum von fünf lux, die am 12.-18. Masttag erreicht wurden. Diese fünf lux wurden bis zum Mastende beibehalten. Der Tageslichteinfall der Versuchsgruppe war lediglich so groß, dass die gewünschte Lichtintensität nicht überschritten wurde.

An Tag 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 und 40 wurden jeweils zehn Tiere, sowohl aus der Kontroll- als auch der Versuchsgruppe randomisiert vom Stallpersonal entnommen und an die Klinik für Vögel transportiert. Dort wurden die Tiere einer klinischen Untersuchung unterzogen und die Augen weiterführend mittels Ultraschall und für eine weitere Studie mittels OCT untersucht, um die Augenstrukturen unter Haltung unter verschiedenen Lichtintensitäten und Entwicklungsstufen zu dokumentieren. Die Versuche wurden nach Genehmigung eines Tierversuchsvorhabens durch die Regierung von Oberbayern durchgeführt und führen das Aktenzeichen 55.2-1-54-2532-63-2015.

Tabelle 1: Beleuchtungsintensitäten und Dämmerungsperioden der jeweiligen Masttage

Masttag	Beleuchtungsstärke in lux Kontroll- /Versuchsgruppe	Dunkelphase in Std Kontroll- / Versuchsgruppe
0	20 /20	0
1	20/20	0
2	20/20	0
3	20/20	2
4	20/20	2
5	20/20	4
6	20/20	4
7	20/20	6
8	20/20	6
9	20/20	6
10	20/15	6
11	20/15	6
12	20/15	6
13	20/10	6
14	20/10	6
15	20/10	6
16	20/10	6
17	20/10	6
18	20/5	6
19	20/5	6
20	20/5	6
21	20/5	6
22	20/5	6
23	20/5	6
24	20/5	6
25	20/5	6
26	20/5	6
27	20/5	6
28	20/5	6
29	20/5	1

30	20/5	1
31	20/5	1
32	20/5	1
33	20/5	6
34	20/5	6
35	20/5	6
36	20/5	6
37	20/5	6
38	20/5	6
39	20/5	1
40	20/5	1
41	20/5	1
42	20/5	1

3.1.2 Material für die ophthalmologische Untersuchung

Für diese klinische Arbeit wurden standardmäßig mehrere Geräte für die ophthalmologische und ophthalmoskopische Untersuchung des Versuchsgutes verwendet. Hierzu zählten die Spaltlampe, der Diaskleralkegel und das Kopfbandophthalmoskop mit verschiedenen Ophthalmoskopierlupen, sowie ein Tonometer.

Bei der verwendeten Spaltlampe handelte es sich um das Modell Kowa SL 15⁸ (Fa.Kowa, Tokio (Japan)). Man konnte bei diesem Gerät drei unterschiedliche Spaltbreiten (0,1, 0,2,0,8 mm) einstellen, die Spaltlänge betrug jedoch immer 12mm. Außerdem verfügte das Gerät über eine „0“ Stufe. Zudem konnte man einen punktförmigen Lichtstrahl mit einem Durchmesser von 12mm verwenden. Außerdem besaß sie die Funktion verschiedene Lichtintensitäten einzustellen, sowie einen Cobalt-Blaufilter. Das Auge konnte mit der Spaltlampe in zehn- oder 16-facher Vergrößerung betrachtet werden.

1. Diaskleralkegel

Eine direkte und einfache Untersuchung des Auges erfolgte mittels Otoskop (Modell: Heine Beta NT 3,5V⁹). Als Aufsatz diente hier der Diaskleralkegel. Die Vergrößerung

des zu untersuchenden hinteren Augenabschnittes betrug durch die Linse das fünf-siebenfache. Nicht alle Teile des Augenhintergrundes waren hiermit einsehbar.

2. Kopfbandophthalmoskop und Ophthalmoskopierlupen

Mittels des Kopfbandophthalmoskopes (Modell: Heine Omega 100, Herrsching (Deutschland)) erfolgte eine indirekte binokulare ophthalmoskopische Untersuchung. Drei unterschiedliche Lichtfarben (weiß, grün, blau) konnten, genau wie verschiedene Lichtintensitäten und Durchmesser des Lichtstrahles, eingestellt werden. In Kombination mit dem Kopfbandophthalmoskop wurden verschiedene Ophthalmoskopierlupen verwendet, um eine Vergrößerung des Bildwinkels zu erreichen. Dies vereinfachte das Betrachten des Augenhintergrundes und ermöglichte eine genaue Darstellung der Strukturen des Auges.

3. Tonometer

Für die Messung des Augeninnendruckes wurde das Rebound-Tonometer Tonovet® (Fa. Icare, Finland) verwendet (Vergleiche Abbildung 3).



Abbildung 3: Untersuchung des Augeninnendruckes mittels Rebound-Tonometer Tonovet® mit eingelegter Messsonde

3.1.3 Material für die sonographische Untersuchung

Für die dreidimensionale sonographische Untersuchung wurden neben dem Ultraschallgerät und den dazugehörigen Sonden verschiedene Verbrauchsmaterialien verwendet.

1. Verbrauchsmaterialien

Für die Durchführung der dreidimensionalen Sonographie wurde das Ultraschallgel „Ultrasound Gel“ von der Firma Henry Schein® verwendet. Das Gel diente einer guten Ankopplung der Sonde an das Auge, es hatte keine schädliche Wirkung und konnte nach der Untersuchung mit physiologischer Kochsalzlösung abgespült werden.

Außerdem wurde vor der Untersuchung ein Lokalanästhetikum in Tropfenform in beide Augen appliziert, um die Kornea für die Dauer der Sonographie schmerzunempfindlich zu machen. Hierbei handelte es sich um 0,4%iges Oxybuprocain (Conjucaïn, Fa. Dr. Mann Pharma und Bausch & Lomb GmbH, Berlin (Deutschland)).

Da sich nach der Untersuchung noch reichlich Ultraschallgel auf den Augen der Masthähnchen befand, wurde dieses mit lauwarmer physiologischer Kochsalzlösung vorsichtig ausgespült.

Anschließend wurde keine Augensalbe zur Regeneration der Hornhaut aufgetragen, da die Tiere im Anschluss an die gesamte Untersuchung euthanasiert wurden.

Die Masthähnchen wurden für die Untersuchung in ein großes Handtuch eingewickelt, um Abwehrbewegungen und Stress der Tiere zu minimieren. Dabei wurde stets darauf geachtet, die Atmung der Tiere während der Untersuchung nicht einzuschränken. Die überschüssige physiologische Kochsalzlösung zur Reinigung der Augen wurde ebenfalls vom Handtuch aufgefangen. So wurde das Gefieder der Tiere nicht durchnässt.

Im Anschluss an die sonographische Untersuchung wurde die Ultraschallsonde mit speziellen Reinigungstüchern von CleaniseptR Wipes (Fa. Dr. Schumacher GmbH, Malsfeld (Deutschland)) gesäubert und desinfiziert.

2. Ultraschallgerät

Für die Durchführung der Ultraschalluntersuchung wurde das tragbare Gerät Voluson I (Fa. GE (General Electrics) Healthcare Ultraschall Deutschland GmbH, Solingen (Deutschland)) verwendet, welches als Laptopformat zur Verfügung stand. Hiermit konnten Aufnahmen in verschiedenen Modi wie B-Mode, M-Mode und Volumen-Mode aufgezeichnet werden. Ebenso stand eine Dopplerfunktion zur Verfügung.

CRI (Compound Resolution Imaging) und SRI2 (Speckle reduction Imaging) waren spezielle Verarbeitungstechnologien, die das aufgenommene Bild verarbeiteten und für den Betrachter digital zur Verfügung stellten. Auf einem Monitor, der bei maximal 1024 Bildzeilen 256 unterschiedliche Graustufen darstellen konnte, wurden die Bilder hochauflösend abgebildet.



Abbildung 4: Ultraschallgerät Voluson i der Firma GE Healthcare (Foto: GE Healthcare/Deutschland)

3. Ultraschallsonde

Bei der Ultraschallsonde handelte es sich um eine R SP6-16RS Linearsonde (Fa. GE (General Electrics) Healthcare Ultraschall Deutschland GmbH, Solingen

(Deutschland)), die über eine Frequenz zwischen 5,6 - 18,4 MHz verfügte. Bei den Untersuchungen wurde stets die höchste Frequenzstufe (circa 17 MHz) eingestellt. Das Gewicht der Sonde betrug 376 g, die Kontaktfläche hatte eine Größe von 52 x 52 mm. Die Scanbreite betrug 38 mm, die Eindringtiefe 37,4 mm. Für eine besonders gute Bildaufnahme, die möglichst artefaktfrei sein sollte um alle Augenstrukturen besser darzustellen, sorgten 192 piezoelektrische Elemente, über welche die Linearsonde verfügte. Diese Art von Sonde wird vor Allem für Aufnahmen der Schilddrüse, des Gefäßsystems, der Augen, der Mamma und in der embryonalen Diagnostik in der Humanmedizin verwendet.



Abbildung 5: Linearschallkopfsonde R SP6-16RS der Firma GE Healthcare (Foto: GE Healthcare/Deutschland)

3.1.4 Material für die postklinische Dokumentation

Im Anschluss an die Euthanasie der Versuchstiere wurden die Augen für pathohistologische Untersuchungen für eine weitere Dissertation fachgerecht entnommen und in 10%igem Formalin fixiert.

3.2 Untersuchungsmethodik

Bei jedem Masthähnchen, das in diese Studie mit einbezogen wurde, erfolgte dasselbe Untersuchungsschema. Bei allen Untersuchungen wurde stets darauf geachtet, den Stress für die Tiere möglichst gering zu halten. Deshalb wurden im Vorfeld alle Geräte und Materialien bereitgestellt, Lärm vermieden und für eine ruhige Atmosphäre sowie für kurze Wartezeiten gesorgt. Zur klinischen Untersuchung gehörten das Feststellen des Ernährungszustandes anhand von Palpation der Brustmuskulatur sowie die Feststellung des Gewichtes durch Wiegen der Tiere. Adspektorisch wurde das Gefieder der Tiere sowie die Körperöffnungen und somit der Pflegezustand beurteilt. Bei der Untersuchung der Tiere wurde anhand von einem Score-Sheet die Belastung beurteilt. Zeigten die Hühner Anzeichen von Stress, wie Schnabelatmung, Plustern oder Apathie, wurden sowohl die klinische Untersuchung, sowie alle weiteren Untersuchungsmethoden sofort abgebrochen.

3.2.1 Die ophtalmologische Untersuchung

Im Anschluss an die klinische Untersuchung wurde mit dem ophthalmologischen Untersuchungsgang fortgefahren. Hierbei wurde sich an KORBEL (2016) orientiert. Es wurden immer beide Augen vergleichend untersucht, um auch asymmetrische Augenveränderungen festzustellen (MIKAELIAN et al., 1994; KORBEL, 2012). Die Untersuchung erfolgte am wachen Tier in abgedunkelter Umgebung, was zum einen den Vorteil hatte, dass die Beurteilung der Augen besser vorgenommen werden konnte, zum anderen, dass die Tiere durch das gedämpfte Licht weniger stressanfällig waren und sich ruhiger verhielten. Zuerst wurde eine vergleichende Adspektion beider Augen vorgenommen. Die Tiere konnten sich hierbei unbeobachtet und frei im Raum bewegen, sodass das normale Sehverhalten

beurteilt werden konnte. Außerdem betrachtete man nicht nur die Augen, sondern auch die Augenumgebung, Bulbuslage und Schädelkonturen auf mögliche Verletzungen, Asymmetrien, Hämatome, Blutungen, Form- oder Größenveränderungen, periokularen Federverlust sowie Augenausfluss oder Blepharospasmus. Mit Hilfe der Drohreaktion wurde überprüft, ob das Sehvermögen vorhanden war.

Nun wurde der Augeninnendruck mittels Tonometer gemessen, um Hinweise auf bestimmte Erkrankungen wie zum Beispiel die des Glaukoms zu bekommen. Es wurden jeweils drei Messungen durchgeführt und der Mittelwert daraus errechnet.

Mit dem Diaskleralkegel, der eine punktförmige Lichtquelle aufweist, wurde im Anschluss das vordere Augensegment untersucht. Wenn das Licht von frontal auf das Auge traf, ließ sich die Transparenz beurteilen, welche durch Hornhaut- und Linsentrübungen beeinträchtigt sein konnte. Ebenfalls konnten dadurch Iriszysten oder Kolobome diagnostiziert werden. Anschließend traf das auffallende seitliche sowie schwingende Licht seitlich auf das Auge, um weitere Strukturen darzustellen und genauer beurteilen zu können. Pathologische Veränderungen wie ein Hyphaema oder Hypopyon konnten mit Hilfe von seitlich durchfallendem Licht erkannt werden, ebenso konnte die Tiefe der vorderen Augenkammer abgeschätzt werden.

Mithilfe der Spaltlampe konnten die vorderen Abschnitte des äußeren und inneren Auges bis einschließlich des vorderen Glaskörpers untersucht werden. Die 10- bzw. 16-fache Vergrößerung ermöglichte hierbei auch die Diagnose von sehr kleinen Veränderungen. Auch Linsenluxationen, das Fehlen der Linse, Fremdkörper, sowie Trübungen konnten hiermit festgestellt werden.

Der Augenhintergrund konnte mittels der direkten monookularen und der indirekt binokularen Ophthalmoskopie in Augenschein genommen werden. Für die direkte monookulare Ophthalmoskopie wurde ausschließlich ein Diaskleralkegel benötigt. Allerdings konnte bei dieser Methode lediglich ein eingeschränktes Bild des Augenhintergrundes beurteilt werden, also der Augenfächer und seine unmittelbare Umgebung.

Für die indirekte binokulare Ophthalmoskopie benötigte man ein Kopfbandophthalmoskop sowie eine Ophthalmoskopierlupe. In der vorliegenden

Arbeit wurde eine 90 Dioptrien Lupe verwendet. Bei dieser Methode musste beachtet werden, dass das Bild, welches man durch die Lupe sah, seitenverkehrt und auf dem Kopf stehend lag. Sichtbar war hier der Pecten oculi, die direkte Umgebung, sowie auch die peripheren Fundusabschnitte. Veränderungen wie Blutungen, Trübungen des Glaskörpers, Fibrinclots, Retinopathien und morphologische Veränderungen des Pektens konnten hiermit sichtbar gemacht werden.

3.2.2 Die sonographische Untersuchung

Bei der sonographischen Untersuchung wurden beide Augen nacheinander untersucht. Die Sonographie fand im Anschluss an die ophthalmologische Untersuchung statt. Dazu gehörte die Vor- und Nachbereitung des Patientenguts, die zweidimensionale Ultraschalluntersuchung, zu der auch die dopplersonographische Untersuchung zählte, die dreidimensionale Datengewinnung sowie die Bearbeitung jener Daten.

1. Vorbereitung des Patientenguts auf die Untersuchung

Vor der eigentlichen Ultraschalluntersuchung war sicherzustellen, dass das Allgemeinbefinden der Tiere eine derartige Untersuchung zuließ. Hierbei richtete man sich nach einem Score Sheet, der sämtliche Abbruchkriterien vorgab. Die Untersuchung fand am wachen Tier statt, eine Narkose war aufgrund der Schmerzlosigkeit und kurzen Untersuchungsdauer nicht indiziert. Die Fixation der Hühner richtete sich nach den Angaben von KORBEL (1992). Die Tiere wurden für die Untersuchung in ein dickes Handtuch gewickelt, die Flügel an den Körper angelegt, lediglich der Kopf war für den Untersucher frei zugänglich. So konnten Abwehrbewegungen vermieden werden. Das Masthähnchen wurde mit dem Körper zwischen den Oberschenkeln des Untersuchers platziert, auf eine aufrechte Position des Tieres wurde zu jeder Zeit geachtet. Mit der einen Hand des Untersuchers wurde der Kopf des Tieres im Kappengriff fixiert, mit der anderen Hand der Schallkopf auf das Auge gerichtet.

Während der gesamten Untersuchungsdauer war eine Hilfsperson anwesend, die das Ultraschallgerät bediente und bei der Fixation der Probanden Hilfestellung leistete.

Bevor die Untersuchung startete, wurde die Kornea mittels eines Oberflächenanästhetikums Oxybuprocain (Conjucaïn®, 0,4%) anästhesiert. Jeweils ein Tropfen wurde in jedes Auge appliziert, auf den Wirkeintritt von einer Minute wurde geachtet.

In dieser Zeit wurden verschiedene Angaben wie die Nummer des Tieres, die Schallebene, das zu untersuchende Auge und der jeweilige Lebenstag in den PC eingegeben. Das Datum, sowie die Uhrzeit wurden automatisch auf dem Datensatz angezeigt.

2. Die sonographische Untersuchung

Die gesamte Untersuchung fand in einem abgedunkelten und ruhigen Raum statt. Die Hilfsperson bediente während der Untersuchung das Ultraschallgerät. Vor Untersuchungsbeginn wurde ausreichend Ultraschallgel auf die Sonde aufgetragen, um sowohl die Ankopplung zu verbessern, als auch den direkten Kontakt von Kornea und Sonde zu verhindern. Die Untersuchung begann stets mit dem rechten Auge des Vogels. Hierfür wurde das Masthähnchen so platziert, dass der Vogel vom Untersucher weg sah. Die linke Hand fixierte den Kopf im Kappengriff, die rechte Hand hielt die Ultraschallsonde auf das Auge. Für die Untersuchung des linken Auges sah der Vogel zum Untersucher, sodass die rechte Hand des Untersuchers den Schallkopf auf dem Auge positionieren konnte. Bei großen Tieren war eine Fixation des Probanden alleine nicht möglich, daher war die Hilfsperson dann beim Fixieren des Tieres behilflich.

3. Zweidimensionale Untersuchung im B-Modus

Die zweidimensionale Untersuchung im B-Modus (brightness modulation) verschaffte einen Überblick über das zu untersuchende Auge. Alle Geräteeinstellungen wurden so eingestellt, dass die technische Qualität des Bildes optimal war, bevor man anschließend in den Volumenmodus wechselte. Für jedes zu untersuchende Tier und für jedes einzelne Auge wurden die Einstellungen jeweils angepasst.

Folgende Einstellungen wurden bei jeder Untersuchung vorgenommen:

- Qualität: Die Qualität wurde bei allen Untersuchungen auf „hoch“ eingestellt, um ein maximal gutes Bild zu bekommen.

- Frequenz: Die Frequenz wurde ebenfalls hoch eingestellt, bei diesem Gerät betrug die maximale Frequenzhöhe 18 MHz.
- Zoom: Der Zoom wurde jeweils so eingestellt, dass das gesamte Auge des Tieres auf dem Bildschirm sichtbar war.
- Fokus: Es konnten bis zu vier Fokusse eingestellt werden. Bei der Verwendung von einem Fokus, wie in dieser Studie, wurde dieser so eingestellt, dass er hinter den Strukturen, die von großem Interesse waren, lag.
- TGC (Time Gain Compensation): Die TGC wurde jeweils so eingestellt, dass alle für die Studie wichtigen Strukturen gut erkennbar waren.
- Gain (Gesamtverstärkung): Der Gain wurde bei den Untersuchungen auf -9 eingestellt. Somit stellten sich die Kornea, vordere und hintere Linsenkapsel als echogen dar und das Linsenstroma, die vordere Augenkammer und der Glaskörper als anechogen. Danach wurde der Gain immer noch ein wenig verändert, sodass eventuelle pathologische Veränderungen im Glaskörper oder der vorderen Linsenkapsel sichtbar wurden. Diese konnte man bei einer niedrigeren Gesamtverstärkung sichtbar machen.
- Eindringtiefe: Wurde ebenfalls wie der Zoom so eingestellt, dass das Vogelauge komplett auf dem Bildschirm dargestellt wurde.

Folgende Schnittebenen standen zur Verfügung:

- Axiale vertikale Schnittebene: Hier wurden sämtliche Einstellungen im B-Mode durchgeführt. Die Schallkopfmarkierung zeigte hierbei nach oben (dorsal) und der Schallkopf wurde senkrecht auf das Auge positioniert. Es musste darauf geachtet werden, dass im Ultraschallbild Kornea und Linse eine senkrechte Linie ergaben. Dieses Bild war dann die Ausgangsbasis für die Umstellung auf den Volumenmodus.
- Axiale horizontale Schnittebene: Wurde in dieser Arbeit nicht angewandt, da diese Ebene durch die Volumenakquisition automatisch berechnet wurde.
- Transversale Schnittebene: Wurde in dieser Arbeit verwendet, um den Pecten oculi des Vogelauges darzustellen. Mittels hinzu geschalteter Dopplerfunktion konnte der Blutfluss des Augenfächers näher betrachtet werden. Aus der

horizontalen Schnittebene wurde die Linearsonde nach temporal angewinkelt und etwas nach dorsal gedreht. Die Strukturen des Auges wurden somit schräg angeschnitten und der Augenfächer, welcher im 90 Grad Winkel zur hinteren Augenwand steht, konnte somit gut eingesehen werden.

4. Volumen- Modus

Im Volumenmodus, auch dreidimensionale Datenaquisition genannt, konnten Gewebevolumen aufgenommen werden und davon Ausschnitte in drei Dimensionen analysiert werden. In diesem Modus war es möglich Ebenen und Ausschnitte darzustellen, die mit der zweidimensionalen Technik nicht möglich gewesen wären. Um den Modus zu aktivieren, musste die Taste „4-D“ gedrückt werden. Die Datenaquisition begann mit einem Bild im 2D-Modus, auf das ein Volumenkästchen gelegt wurde. Dieses war mittels Trackball verschiebbar und musste auf die Größe des zu untersuchenden Bulbus angepasst werden. Der Inhalt des Kästchens war der Untersuchungsbereich ROI (Region of Interest). Wurden Bilder anschließend im Farbdoppler-Modus aufgenommen, entsprach das Farbkästchen dem Volumenkästchen. Während der gesamten Aufnahmezeit war der aktuelle 2D-Scan zu sehen. Bevor die Aufnahme mit der Freeze-Taste gestartet wurde, wurde die Qualität auf maximal eingestellt. Das bedeutet, dass eine maximale Dichte von Scanbildern erreicht wurde, wobei dies jedoch eine verlängerte Aufnahmezeit mit sich brachte. Der Winkel des Volumenscans wurde auf 20° eingestellt, bei Farbdopplerbildern auf 10°. Der Bulbus, beziehungsweise Pecten, musste jeweils komplett sichtbar sein. Durch eine automatische Kippbewegung des Schallkopfes konnte nun der Volumenscan durchgeführt werden. Für die Dauer der Aufnahme war es wichtig, den Schallkopf absolut ruhig zu halten, sodass keine Bewegungsartefakte im Datenvolumen produziert wurden. Dies bedeutete, dass bei unruhigen Tieren unter Umständen mehrere Aufnahmen angefertigt werden mussten, um ein artefaktfreies Bild zu erhalten, welches erst dann richtig ausgewertet werden konnte. Die Größe des Volumenkästchens, sowie die Einstellung der Qualität waren hierbei entscheidend für die Dauer der Aufnahme. In dieser Studie lagen die Aufnahmedauern zwischen 5–10 Sekunden.

Für die Aufnahme eines dreidimensionalen Datensatzes war zwingend eine Hilfsperson nötig, da der Untersucher mit der einen Hand das Tier fixierte und mit der

anderen Hand den Schallkopf absolut bewegungsfrei auf das zu untersuchende Tier gerichtet hielt. Die Hilfsperson war für die Betätigung der Freeze-Taste verantwortlich, um die Datenakquisition zu starten. Bei einem Winkel von 20°, der bei dem axialen vertikalen Scan verwendet wurde, betrug die Anzahl der Einzelbilder 211, bei 10° die Hälfte. 155 µm waren die einzelnen Schnitte dabei voneinander entfernt. Durch einen Berechnungsprozess des 3D-Renderings konnten zwei weitere orthogonale zweidimensionale Ebenen rechnerisch dargestellt werden, die in der Gesamtheit dann das dreidimensionale Bild formten.

Anschließend wurden im „Schnittebenenmodus“ die drei orthogonalen Schnittebenen dargestellt. Die jeweilige Schnittansicht durch den Volumenkörper wurde dabei in jedem Viertel angezeigt. Die Schnittstelle der drei Bilder wurde im jeweiligen Quadranten durch einen Punkt gekennzeichnet. Links oben im Quadranten befand sich Bild A, welches die Scanebene des zweidimensionalen Bildes darstellt. In dieser Studie stellte es die axiale vertikale Ebene dar. Dementsprechend befand sich rechts oben im Bild B die axiale horizontale Ebene und unten links im Bild C die transversale Aufsicht auf das Auge. Unten rechts befand sich Bild D, welches das dreidimensionale Bild anzeigte (Abbildung 6). Auf den dargestellten Bildern war die Kornea immer schallkopfnah und damit oben dargestellt, wohingegen sich die Retina schallkopffern im unteren Abschnitt des Bildes befand.

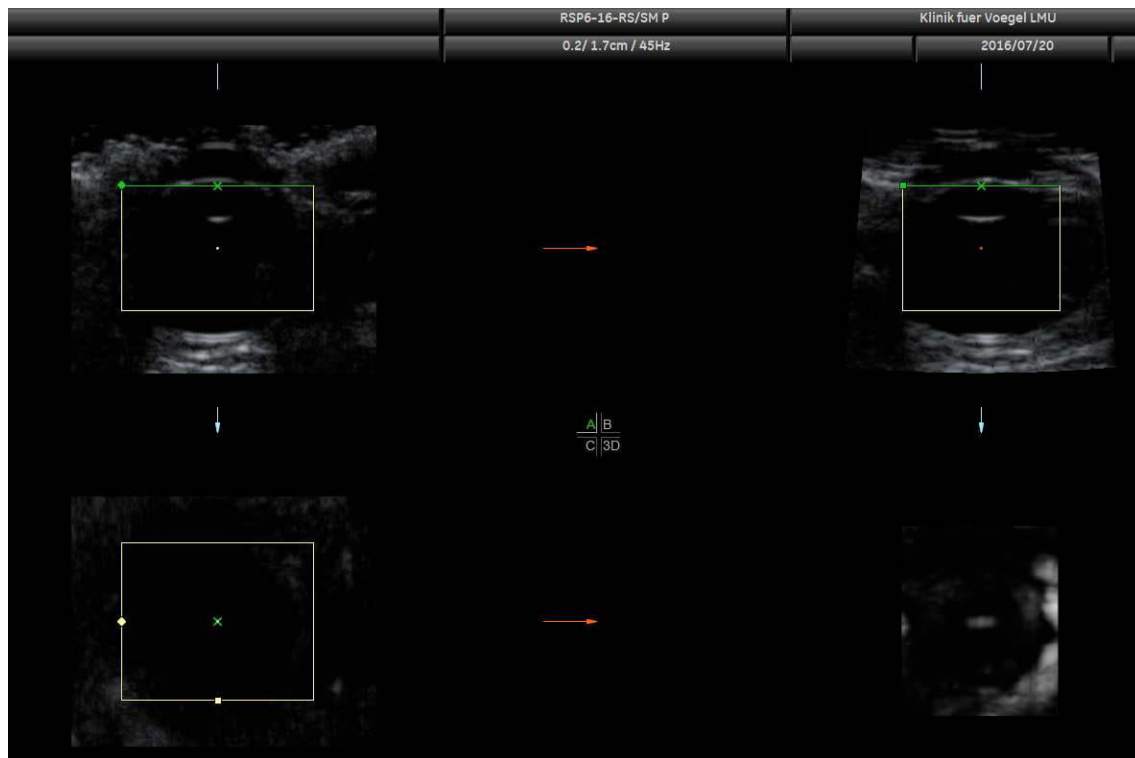


Abbildung 6: Schnittebenen im Volumenscan, Masthähnchenauge (*Gallus gallus domesticus*) an MT 10

5. Nachbereitung des Versuchsgutes

Nach der Untersuchung wurden die Augen der Tiere mit angewärmter physiologischer Natriumchloridlösung gespült und die Ultraschallgelreste mittels weichen Papiertüchern entfernt. Das Spülen der Augen erfolgte zweimal im Abstand von einer Stunde, da die Augen für eine Folgestudie mittels optischer kohärenztomographischer Untersuchung völlig frei von Ultraschallgel sein mussten, da sich sonst auf den Bildern Artefakte dargestellt hätten.

3.2.3 Biometrie

Die Messung der einzelnen Augenstrukturen, beziehungsweise der Distanzen zueinander, wurde nach der eigentlichen Untersuchung durchgeführt. Somit konnte der Stress für die Tiere minimiert werden und die Untersuchung schnellstmöglich beendet werden. Es wurden folgende Messparameter in dieser Studie erhoben:

- Durchmesser der Kornea
- Durchmesser der vorderen Augenkammer
- Durchmesser der Linse axial und transversal
- Durchmesser des Glaskörpers axial
- Durchmesser der hinteren Augenwand
- Gesamtdurchmesser des Bulbus axial
- Höhe des Augenfächers

Die Messungen wurden mit Hilfe der Software 4D-View vorgenommen. Es erfolgten jeweils drei Aufnahmen in der axialen vertikalen und transversalen Ebene. Jeder Messparameter wurde dann in diesen Bildern dreimal ermittelt und anschließend der Mittelwert errechnet. Aufgrund des aufgenommenen dreidimensionalen Datensatzes konnten im Anschluss alle anderen Bildebenen errechnet werden und alle Messungen vorgenommen werden. Für die Vermessung der vorderen sowie hinteren Augenstrukturen wurde ein vergrößertes Bild verwendet. Das Ergebnis der Messung wurde in der Einheit Zentimeter mit einer Genauigkeit von drei Nachkommastellen ausgewählt. Abbildung 7 zeigt das Auge eines Masthähnchens mit den jeweiligen Messungen.

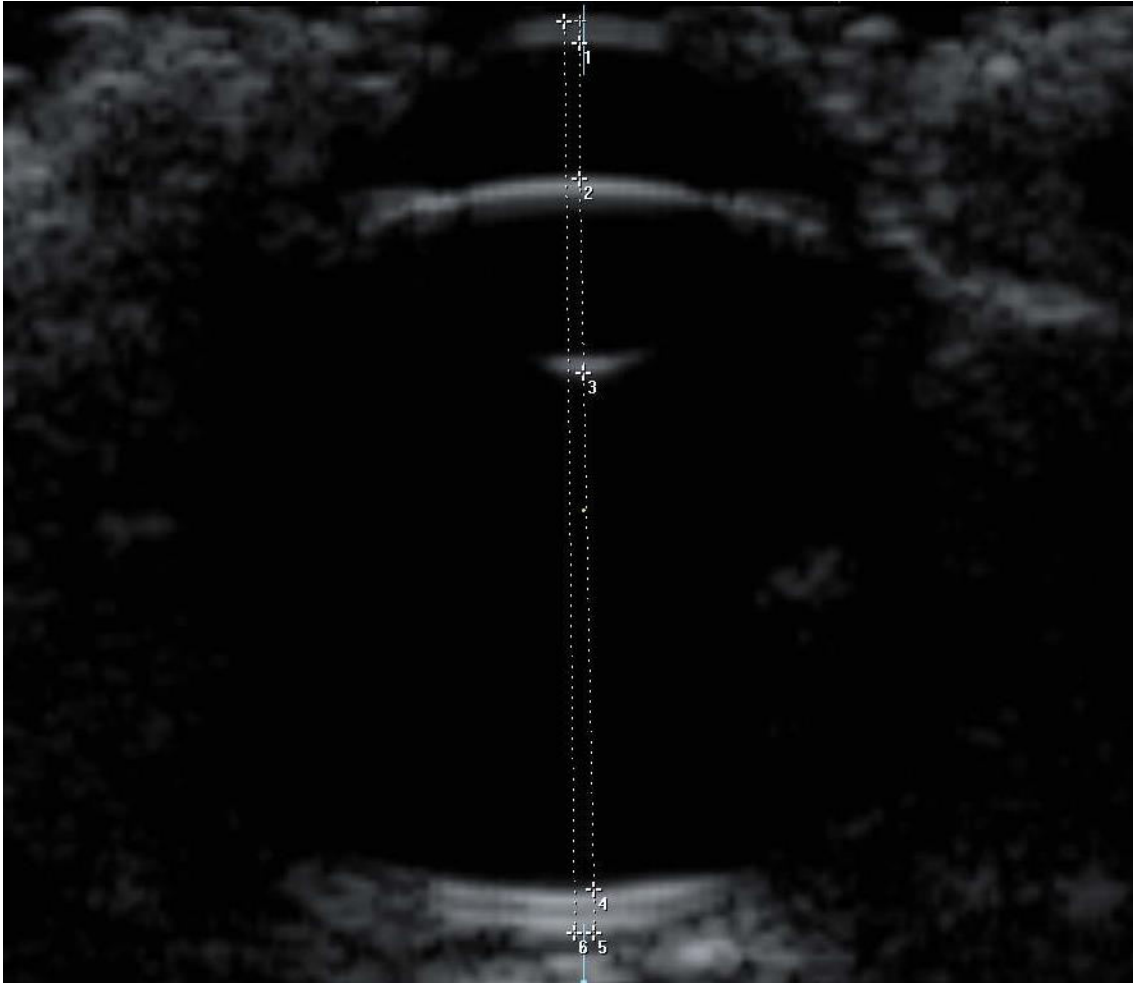


Abbildung 7: Vermessung der okularen Strukturen an MT 15

Die Messungen fanden analog zum Protokoll von STROBEL (2010) statt. Tabelle 2 stellt die Messpunkte zusammengefasst dar.

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, wurde vom äußeren Rand des Korneaepithels bis zum inneren Rand des Korneaendothels die Kornea vermessen. Der Durchmesser der vorderen Augenkammer wurde vom inneren Rand des Korneaendothels bis zum anterior gelegen Rand der vorderen Linsenkapsel vermessen. Die Messung erfolgte an der größten Ausdehnung senkrecht zu Kornea und Linsenvorderkapsel. Ebenfalls an der Stelle der maximalen Ausdehnung wurde der axiale Linsendurchmesser erfasst. Die Messung erfolgte von der anterior gelegenen äußeren Oberfläche der vorderen Linsenkapsel bis zur posterior gelegenen äußeren Oberfläche der hinteren Linsenkapsel. Ausgehend von der größten lateralen Ausdehnung des Pulvinus annularis lentis wurde der transversale Linsendurchmesser bestimmt. Begrenzt

wurde der Pulvinus annularis lentis durch die sich anechogen darstellenden Ziliarkörper. Der Glaskörper wurde, um den axialen Durchmesser zu ermitteln, mittels der Begrenzungspunkte Polus posterior lentis und dem inneren Rand der hinteren Augenwand vermessen, die sich im Ultraschallbild echogen darstellten. Der axiale Durchmesser des Bulbus oculi wurde bestimmt, indem die Messung zwischen der äußeren Oberfläche des Korneaepithels und dem hinteren Rand der Sklera erfolgte. Durch den meist sichtbaren Tennonschen Raum konnte diese posterior gelegene Fläche der Sklera gut abgegrenzt werden. Beim Pekten wurde lediglich die Höhe bestimmt, Messpunkt hierbei war die Spitze, die in den Glaskörperraum ragte, sowie die Insertionsstelle in der Retina (Abbildung 8).



Abbildung 8: Vermessung am Pecten oculi an MT 20

Tabelle 2: Messpunkte mit Ansatz und Ursprung bei der Sonographie (analog zu STROBEL (2010))

Messpunkte	Messpunktursprung	Messpunktansatz
Kornea	Vorderes Korneaepithel	Hinteres Korneaendothel
Vordere Augenkammer	Hinteres Korneaepithel	Vordere Linsenkapsel
Linse axial	Vordere Linsenkapsel	Hintere Linsenkapsel
Linse transversal	Pulvinus annularis lentis	Pulvinus annularis lentis
Glaskörper axial	Hintere Linsenkapsel	Retina
Hintere Augenwand	Retina	Äußere Sklera
Bulbus axial	Vorderes Korneaepithel	Äußere Sklera
Augenfächer axial	Pektenbasis	Pektenbrücke

3.2.4 Postklinische Dokumentation

Im Anschluss an die Untersuchungen wurden die Tiere tierschutzgerecht euthanasiert und die Augen für eine weiterführende histologische Untersuchung einer weiteren Dissertation entnommen. Die Euthanasie erfolgte mittels Pentobarbital, die Dosierung von 1 ml/kg wurde intravenös appliziert. Mit einer chirurgischen Pinzette sowie mit einer Gewebsschere wurden die Augen im Anschluss mittels transpalpebraler Technik freipräpariert und die Augen umgehend in 10%igem Formalin eingelegt und asserviert.

3.2.5 Statistische Auswertung

Mit Hilfe des statistischen Beratungslabors des Instituts für Statistik der Ludwig-Maximilians-Universität München (Stablab) wurde die Auswertung der erhobenen Daten erhoben.

Zur Modellierung der Zielgrößen (zum Bsp. Augenfächer axial) wurden generalisierte additive gemischte Modelle mit zufälligen Effekten für die Variable „Huhn“ mit dem Programm R Core Team (2007) verwendet.

Desweiteren wurden statistische Kenngrößen wie das arithmetische Mittel und die Standardabweichung angewandt. Für die Graphiken wurden Boxplots erstellt.

Insgesamt wurden 28.800 Messungen aus 400 Augen in die statistische Auswertung mit einbezogen.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der ophthalmologischen Untersuchung

Beim Großteil der 200 untersuchten Masthähnchen war die ophthalmologische, sowie ophthalmoskopische Augenuntersuchung ohne besonderen Befund. Bei 45 Masthähnchen (22,5 %) wurde in der Untersuchung des Augenhintergrundes eine geringgradige Hyperpigmentierung der Netzhaut festgestellt. Dies trat vor allem bei Tieren der Versuchsgruppe auf (n = 36). Diese Veränderungen lagen meist beidseits vor und wurden erst mit zunehmendem Alter der Tiere beobachtet.

4.2 Darstellung und Darstellbarkeit der Augenstrukturen im zwei- und dreidimensionalen Ultraschall

4.2.1 Kornea

Die Kornea stellte sich im dreidimensionalen Ultraschall als doppelt übereinanderliegende Linie dar, die sich konvex der Form des Auges anpasste. Das Epi- wie auch das Endothel stellte sich hyperechogen dar und konnten in fast allen Fällen voneinander differenziert werden. Zwischen diesen beiden hyperechogenen Linien befand sich das Stroma, welches eine anechogene Struktur aufwies. Die beiden hyperechogenen Linien, das heißt das Epi- und Endothel, konnten zur Seite hin nicht weiter verfolgt werden (Abbildung 9). Hatten die Tiere die Augen während der Untersuchung geschlossen, konnten die einzelnen Strukturen nur ungenau vermessen werden.

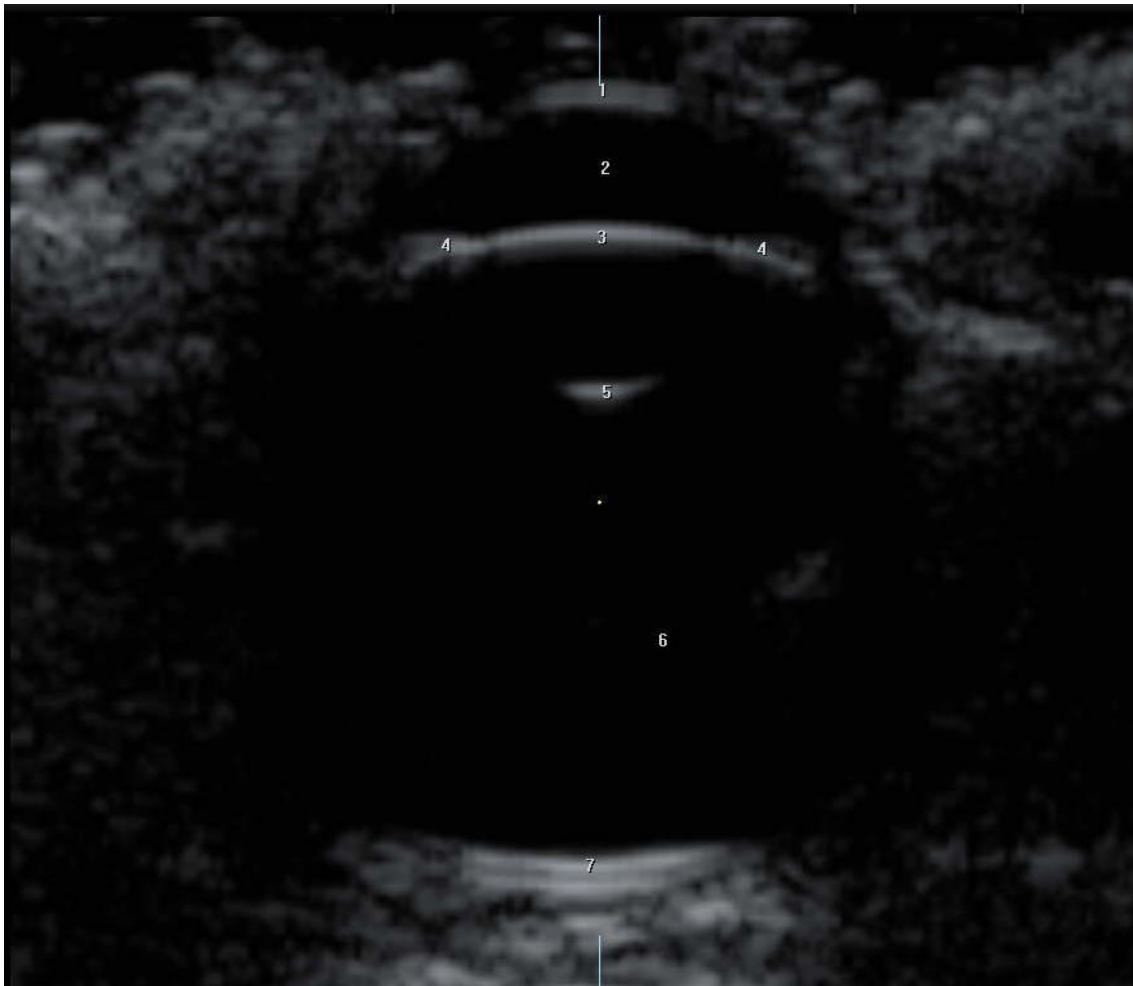


Abbildung 9: Physiologische zweidimensionale sonographische Darstellung eines Auges beim Masthähnchen (*Gallus gallus domesticus*). 1) Kornea, 2) vordere Augenkammer, 3) vordere LinsenkapSEL, 4) Iris, 5) hintere LinsenkapSEL, 6) Glaskörper, 7) hintere Augenkammer

4.2.2 Vordere Augenkammer

Schallkopffern distal des Korneaendothels ließ sich die vordere Augenkammer als anechogener Raum darstellen. Sie wurde begrenzt durch die hyperechogenen Strukturen von Kornea, Linse, Iris und Ziliarkörper.

4.2.3 Hintere Augenkammer

Die Darstellung dieser Struktur war nicht in allen Ultraschallbildern möglich. Sie wurde in der vorliegenden Arbeit nicht vermessen. Ebenso wie die vordere Augenkammer, stellte sie sich im zwei- und dreidimensionalen Bild als schmaler anechogener Raum zwischen vorderer Linsenkapsel und Irisrückseite dar.

4.2.4 Linse

Die Linse wurde bei allen Tieren im Ultraschall durch zwei hyperechogene Linien abgebildet. Die der vorderen Augenkammer zugewandte Seite wies eine konvexe Form auf. Die dem Glaskörper zugewandte Linie stellte sich als hyperechogen dar, ihre Form war leicht konkav. Das Stroma dazwischen stellte sich als anechogener Raum dar.

4.2.5 Iris

Im Ultraschall ließ sich die Iris als mäßig echogen bis hyperechogen darstellen, wobei sie im dreidimensionalen Ultraschallbild die kreisförmige hypoechogene Pupille eingrenzte.

4.2.6 Ziliarkörper

Der Corpus ciliare stellte sich mit einer ähnlichen Echogenität wie die Iris dar, ließ sich aber durch den angrenzenden Skleralring nicht immer sicher von diesem abgrenzen.

4.2.7 Skleralring

Der Skleralring war meist nicht vom umliegenden Gewebe differenzierbar und stellte sich als hyperechogenes Gewebe dar. Schallkopffern löste der Skleralring aufgrund

seiner Gewebedichte einen Schallschatten aus, welcher sich im dreidimensionalen Ultraschallbild als hypoechogene kreisrunde Struktur abbildete.

4.2.8 Kammerwinkel

Aufgrund der nur schwach echogenen angrenzenden Strukturen wie Iris und Lider, konnte der Kammerwinkel nur sehr schwierig bis gar nicht abgegrenzt werden. Wurde nur ein schmaler Ausschnitt im dreidimensionalen Ultraschallvolumenbild gewählt, so ließ sich, wenn möglich, der Kammerwinkel einfacher darstellen.

4.2.9 Lider

Die Lider stellten sich in der Nähe der Ultraschallsonde als flächig echogene Strukturen dar. Sie konnten nicht in jedem Bild gleichermaßen abgebildet werden, je nachdem wie der Lidschluss zum Zeitpunkt der Aufnahme war.

4.2.10 Bulbus

Die flache Augapfelform ließ sich in den meisten Fällen, trotz schallauslöschendem Skleralring, sicher vom umliegenden Gewebe abgrenzen.

4.2.11 Glaskörper

Zwischen der hinteren Linsenkapsel und der hinteren Augenwand konnte der flächenmäßig große anechogene Raum als Glaskörper ausgemacht werden. Bei den meisten Bildern konnten die Sklera, die Choroidea und die Retina als seitliche Begrenzung des Augapfels dargestellt werden. Bei einigen Ultraschallaufnahmen gelang diese Darstellung nicht immer aufgrund des Schallschattens durch den Skleralring. Manchmal konnten innerhalb des Glasköperraumes Artefakte in Form von hyperechogenen Strukturen erfasst werden.

4.2.12 Augenfächer

Der Pecten oculi des Faltentyps stellte sich im Ultraschall als mäßig echogene Struktur dar und ragte vom Sehnerv ausgehend in den Glaskörperraum als längliche und zierliche Struktur hinein. Unter Zuhilfenahme der Dopplerfunktion konnte der kontinuierliche Basisblutfluss mit parallel zueinander verlaufenden blauen und roten Blutströmen dargestellt werden (Abbildung 11). Während der Dauer einer oszillatorischen Augenbewegung stieg der Blutfluss bis zur Spitze des Pecten oculi an und normalisierte sich im Anschluss sehr schnell wieder. Sowohl bei der Kontroll- wie auch bei der Versuchsgruppe wurde keine Änderung der Durchblutung des Augenfächers während der Dauer des gesamten Versuches wahrgenommen.



Abbildung 10: Physiologische zweidimensionale sonographische Darstellung des Pecten oculi beim Masthähnchen (*Gallus gallus domesticus*), MT10

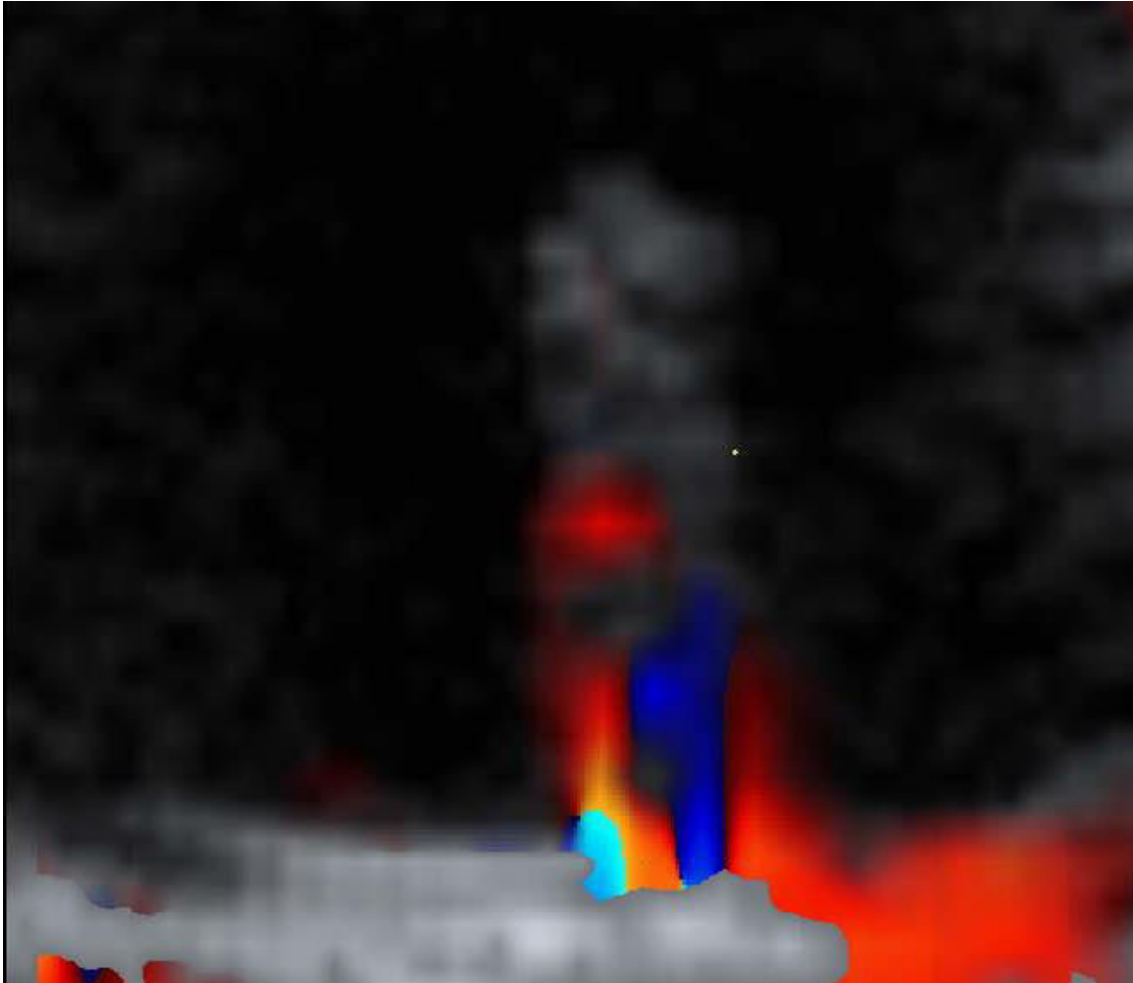


Abbildung 11: Physiologischer Blutfluss am Pecten oculi an MT 10

4.2.13 Hintere Augenwand

In der Ultraschalluntersuchung stellte sich die hintere Augenwand als hyperechogene Struktur dar. Die Sklera, Choroidea und Retina konnten im zweidimensionalen Schnittbild in den meisten Fällen voneinander differenziert werden. Eine genaue Unterscheidung war im dreidimensionalen Ultraschallbild jedoch nicht möglich. Ab dem 15. Messtag waren statt drei hyperechogenen Strukturen, nur noch zwei solche Strukturen im zweidimensionalen Ultraschall bei Kontroll- und Versuchsgruppe sichtbar. Die Dicke der Augenwand reduzierte sich im Ultraschallbild deutlich bei beiden Gruppen ab diesem Messtag und es wurde bis zum Ende des Versuchs nicht mehr der Anfangs gemessene Durchmesser der hinteren Augenwand erreicht (Abbildung 12).

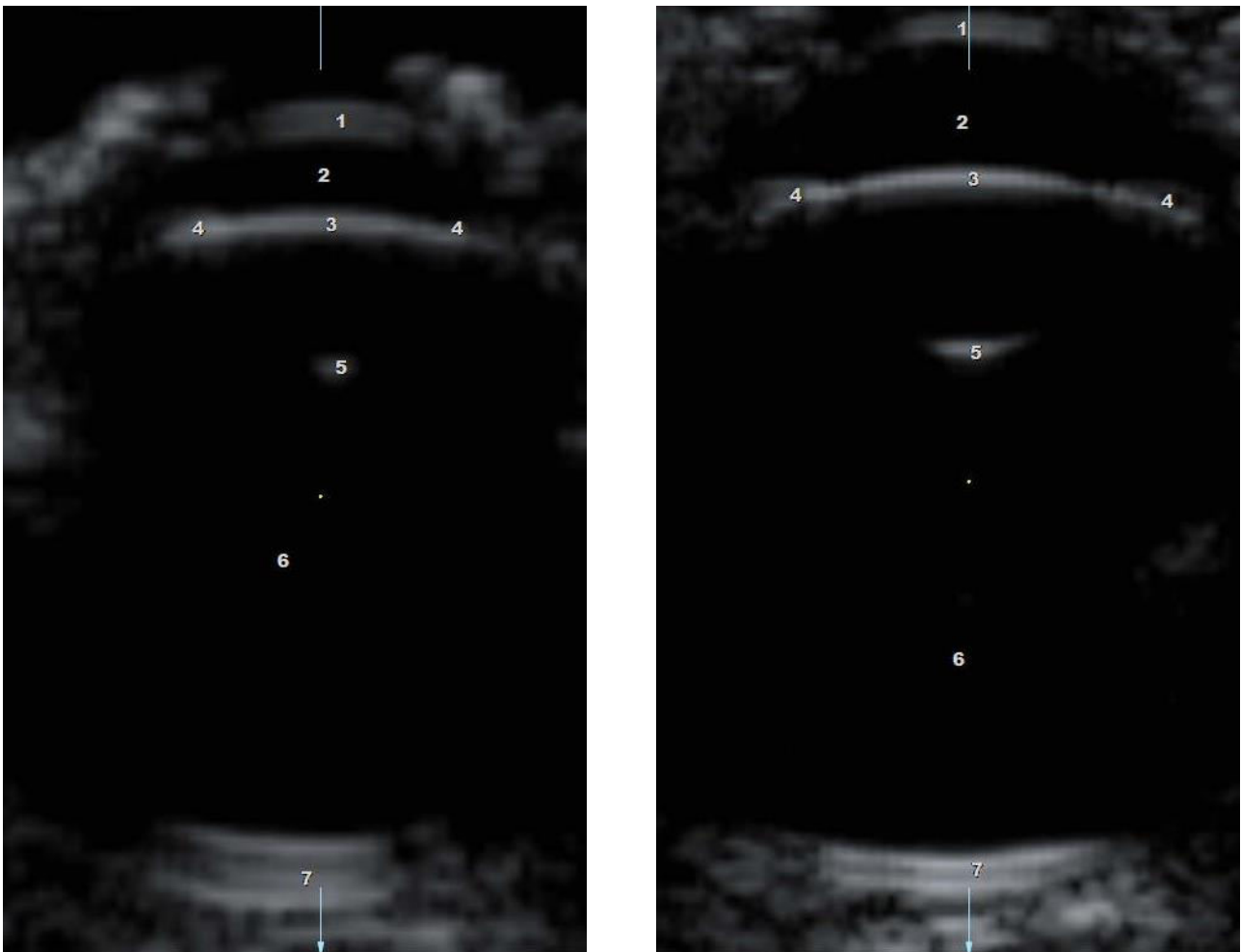


Abbildung 12: Vergleich der hinteren Augenwand an Messtag 10 und 15. 1) Kornea, 2) vordere Augenkammer, 3) vordere Linsenkapsel, 4) Iris, 5) hintere Linsenkapsel, 6) Glaskörper, 7) hintere Augenwand

4.3 Lichtprogramme

Um mögliche Veränderungen auf das Auge des Masthuhns aufgrund einer unterschiedlichen, konstanten Beleuchtungsintensität aufzeigen zu können, wurden bei Kontroll- und Versuchsgruppe vorab bestimmte Beleuchtungsbedingungen festgelegt.

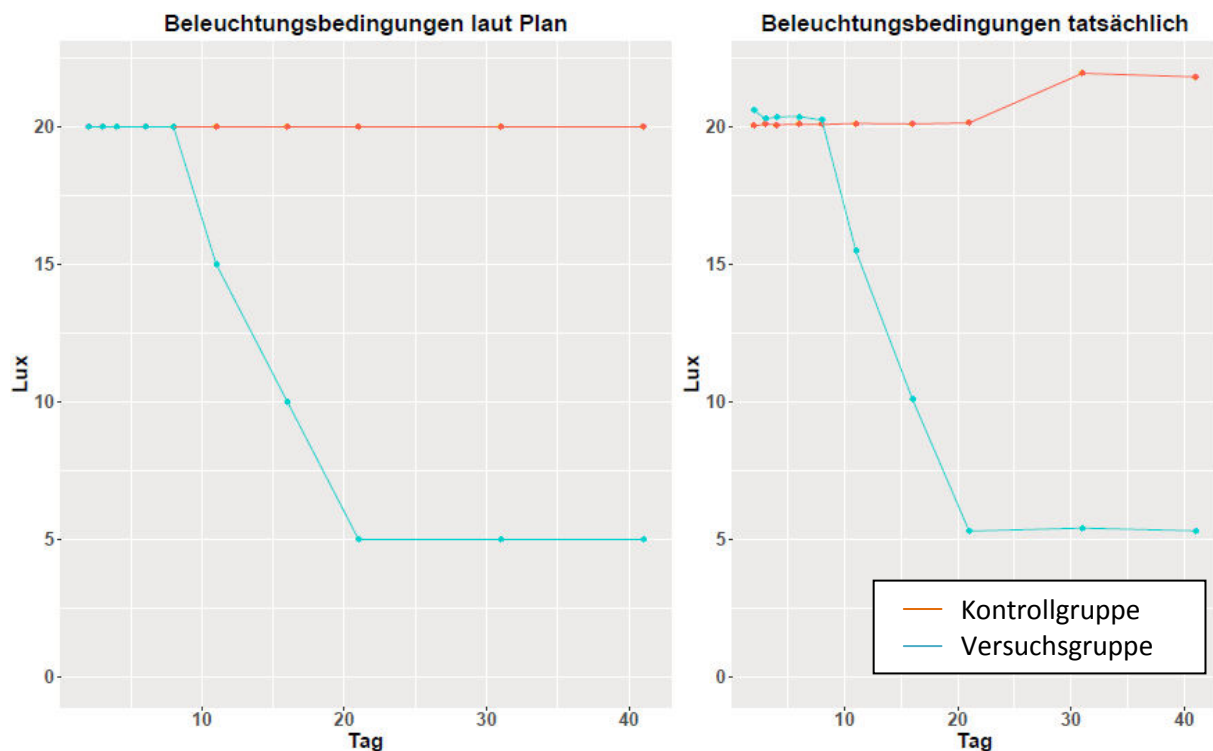


Abbildung 13: Beleuchtungsbedingungen Plan und Ist bei Kontroll- und Versuchsgruppe

Abbildung 13 zeigt sowohl die Beleuchtungsbedingungen, die vorab planmäßig festgelegt wurden, als auch den tatsächlichen Verlauf der Beleuchtung im Stall während der Versuchszeit.

Die Beleuchtungsbedingungen sollten laut Plan in den ersten acht Tagen sowohl bei der Versuchsgruppe als auch bei der Kontrollgruppe 20 lux betragen. Im Anschluss war vorgesehen, die Beleuchtungsintensität der Versuchsgruppe auf fünf lux abzusenken, sodass ab Tag 21 eine konstante Beleuchtungsintensität von fünf lux

gegeben war. Die Intensität der Beleuchtung sollte während der Versuchsdurchführung bei der Kontrollgruppe konstant bei 20 lux liegen.

Die tatsächlichen Beleuchtungsbedingungen der Versuchsgruppe lagen sowohl in den ersten acht Tagen, am Versuchstag 11 und ab Versuchstag 21 lediglich geringfügig über dem geplanten Lichtprogramm (Abbildung 14).

Die tatsächlichen Beleuchtungsbedingungen der Kontrollgruppe stimmten bis Versuchstag 21 mit den geplanten Beleuchtungsbedingungen von 20 lux überein und lagen im weiteren Verlauf des Versuchs bei ca. 22 lux (Versuchstag 31 und 41) (Abbildung 14).

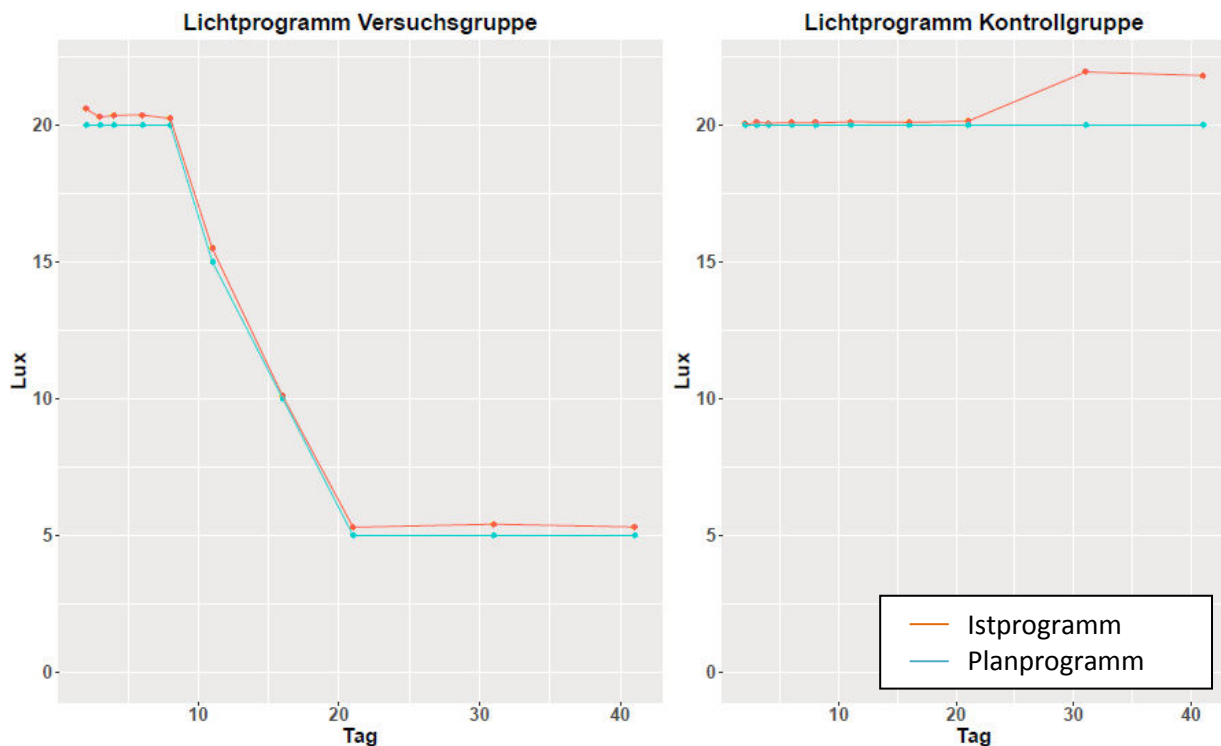


Abbildung 14: Lichtprogramm Plan und Ist für Versuchs- und Kontrollgruppe

Die Abweichung der veranschlagten Lichtintensität betrug somit bei der Versuchsgruppe maximal 10 % und bei der Kontrollgruppe maximal 12 %.

4.4 Entwicklung Gewicht

Vermeintliche Unterschiede in der Entwicklung der einzelnen Untersuchungsmerkmale (z.B. Linse transversal, Glaskörper, Bulbus, etc.) können auf die unterschiedliche Gewichtsentwicklung der beiden Gruppen zurückzuführen sein. Eine Betrachtung der Gewichtsentwicklung beider Gruppen im Laufe des Versuchs im Hinblick auf die Entwicklung der einzelnen Merkmale und eventuellen Abweichungen wurde daher durchgeführt.

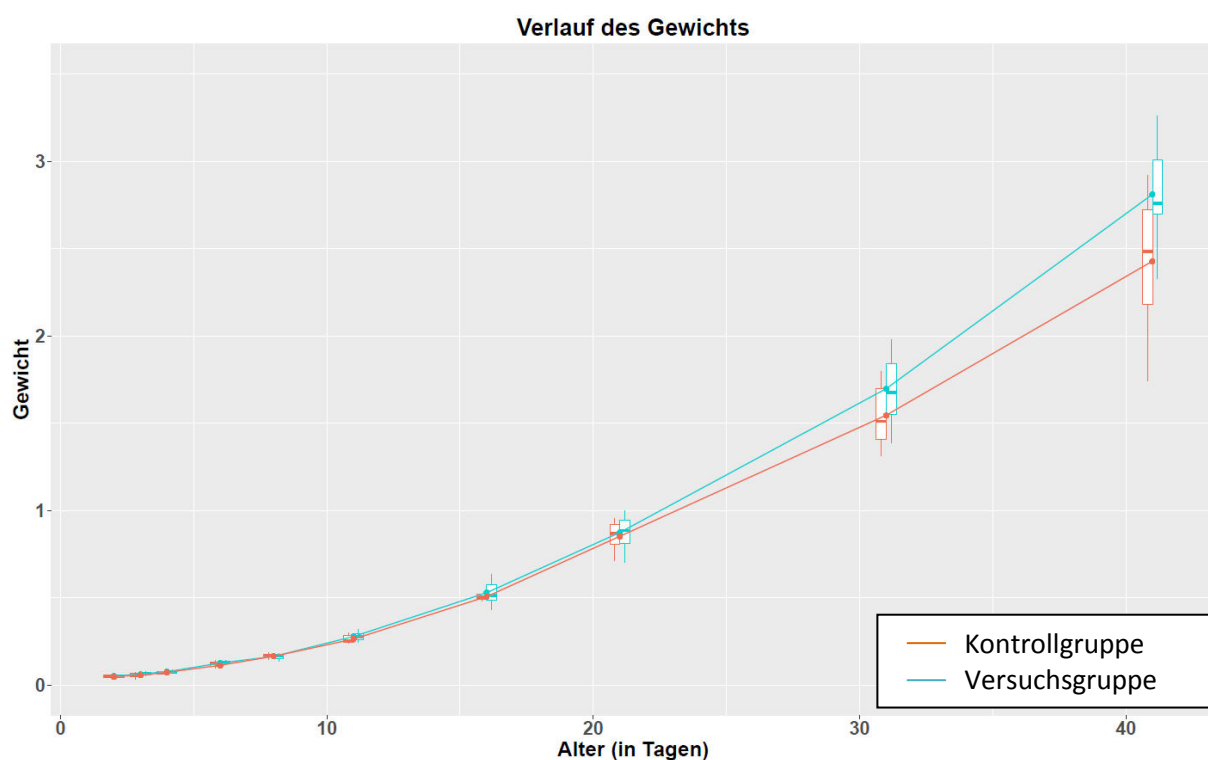


Abbildung 15: Gewichtsentwicklung von Versuchs- und Kontrollgruppe

Im Verlauf des Versuchs wich das Gewicht bei Versuchs- und Kontrollgruppe tendenziell immer weiter voneinander ab. Zu Beginn der Messungen waren das Durchschnittsgewicht und der Entwicklungsverlauf beider Gruppen identisch. Erst ab Messtag 20 stieg die Gewichtsentwicklung der Versuchsgruppe deutlich stärker an als die Gewichtsentwicklung der Kontrollgruppe. Diese Abweichung muss bei der Interpretation der Messwerte berücksichtigt werden.

4.5 Variationskoeffizient

Um die Messwerte für das linke und das rechte Auge auf etwaige Messfehler zu untersuchen, wurde der Variationskoeffizient für Versuchs- und Kontrollgruppe jeweils für das linke und rechte Auge ermittelt und verglichen.

Der Variationskoeffizient beschreibt die Streuung der Messwerte, unabhängig der Einheit bzw. Messgrößen. Der Variationskoeffizient (v) ist das Verhältnis der Standardabweichung (s) zum Mittelwert (\bar{x}) und wurde folgendermaßen ermittelt:

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Für sämtliche Einflussgrößen wurden Grafiken erstellt. Die Grafiken enthalten jeweils die Variationskoeffizienten für die verschiedenen Zielgrößen des rechten und linken Auges. Hierbei wurden jeweils die Werte des rechten und linken Auges eines Untersuchungszeitpunkts als ein Wertepaar für die grafische Darstellung zusammengefasst. Der Variationskoeffizient des rechten Auges wurde dabei auf der x-Achse aufgetragen, während der Variationskoeffizient des linken Auges auf der y-Achse aufgetragen wurde. Diese Art von Grafik wurde je einmal für Versuchs- und Kontrollgruppe, sowie einmal für die gesamte Population erstellt (Abbildung 9).

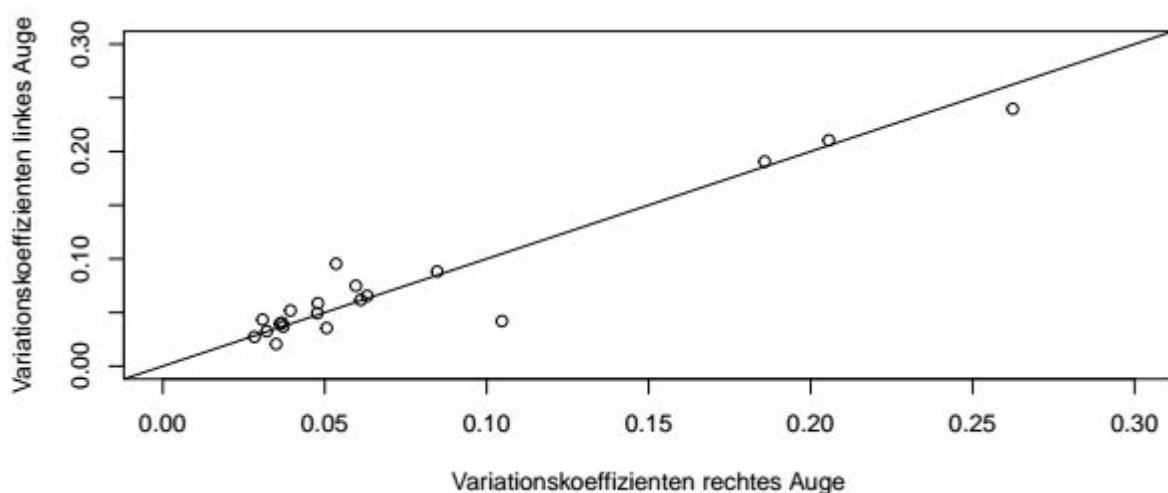


Abbildung 16: Variationseffekt rechtes und linkes Auge der hinteren Augenwand

Bei der Betrachtung bzw. Analyse der Variationskoeffizienten zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe wird deutlich, dass für alle Einflussgrößen die Werte des Variationskoeffizienten ähnlich verteilt waren. Somit konnte ausgeschlossen werden, dass sich linkes und rechtes Auge unterschiedlich entwickelt hatten. Daher wurden die Messergebnisse für beide Augen hinsichtlich der Ergebnisaufbereitung nicht getrennt voneinander ausgewertet.

4.6 Korneadicke

Aufgrund der Ungenauigkeit der Methode der dreidimensionalen Ultraschalldiagnostik entfallen die Ergebnisse der Messung der Hornhautdicke an dieser Stelle. Die Bewertung dieses Ergebnisses wird in der Diskussion behandelt.

4.7 Vordere Augenkammer

Tabelle 3: Modell vordere Augenkammer

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	1,1471	0,0131	87,7866	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,0595	0,0151	-3,9447	0,0001
Gewicht in %	0,0001	0,0007	0,1603	0,8727
Versuchsgruppe	0,0881	0,0151	5,8194	0,0000

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,9288	2,9288	494,3803	0,0000
Geschlecht: weiblich	2,3953	2,3953	647,4079	0,0000

Die Tabelle 3 zeigt die Schätzung eines Modells für die Tiefe der vorderen Augenkammer. Als Einflussgrößen wurden das Geschlecht, die prozentuale Abweichung des Gewichts eines Huhns vom Mittelwert aller am gleichen Tag untersuchten Hühner, das Alter und die Lichtintensität in dem Modell berücksichtigt. Zudem zeigt die Tabelle, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt

auf die vordere Augenkammer der untersuchten Hühner hatten. Der Intercept war die erwartete Größe der vorderen Augenkammer, wenn alle anderen Kovariablen (z. Bsp. Alter, Gewicht) gleich Null waren.

Das Geschlecht hatte einen signifikanten Unterschied auf die Größe der vorderen Augenkammer. Die vordere Augenkammertiefe eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,0595 mm kleiner, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war signifikant (p-Wert: $0,0001 < 0,05$).

Die prozentuale Abweichung des Gewichtes hingegen hatte keinen signifikanten Effekt auf die Tiefe der vorderen Augenkammer (p-Wert: $0,8727 > 0,05$). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner keinen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe der vorderen Augenkammer.

Die erwartete Tiefe der vorderen Augenkammer eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,0881 mm über der Größe der vorderen Augenkammer eines Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war signifikant (p-Wert: $0,000 < 0,05$). Somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Größe der vorderen Augenkammer zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt auf die Tiefe der vorderen Augenkammer.

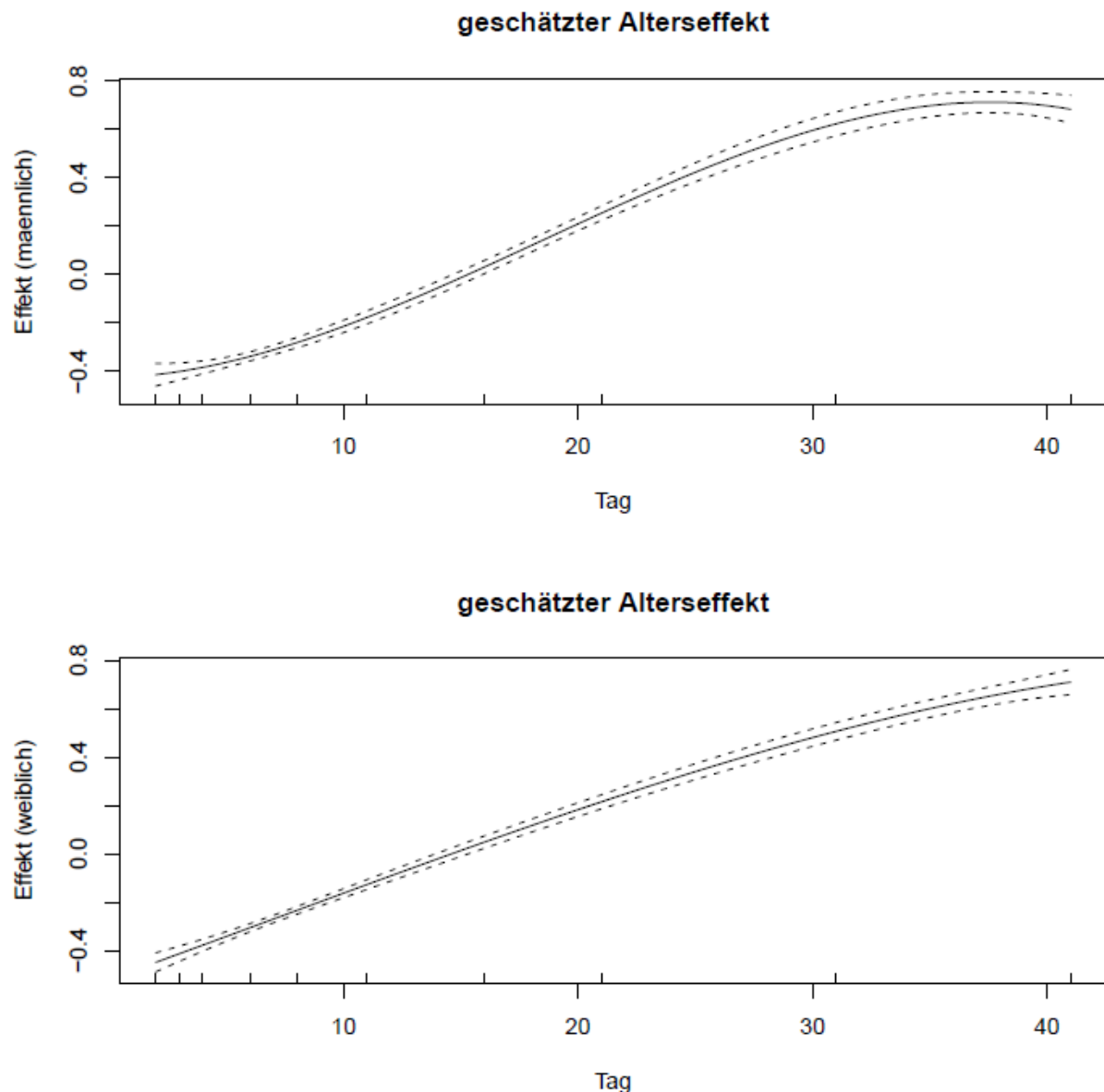


Abbildung 17: Der geschätzte Alterseffekt der vorderen Augenkammer

Abbildung 17 zeigt den geschätzten Alterseffekt der vorderen Augenkammer der Versuchsgruppe, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Die Kurve des geschätzten Alterseffekts gibt Aufschluss über die zu erwartende Größe der vorderen Augenkammer an einem bestimmten Tag in Abhängigkeit des Intercept und des Geschlechtseffektes. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn steigt zunächst konstant an, bevor er ab Tag 30 lediglich degressiv und zum Versuchsende regressiv verläuft. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes hingegen steigt konstant an.

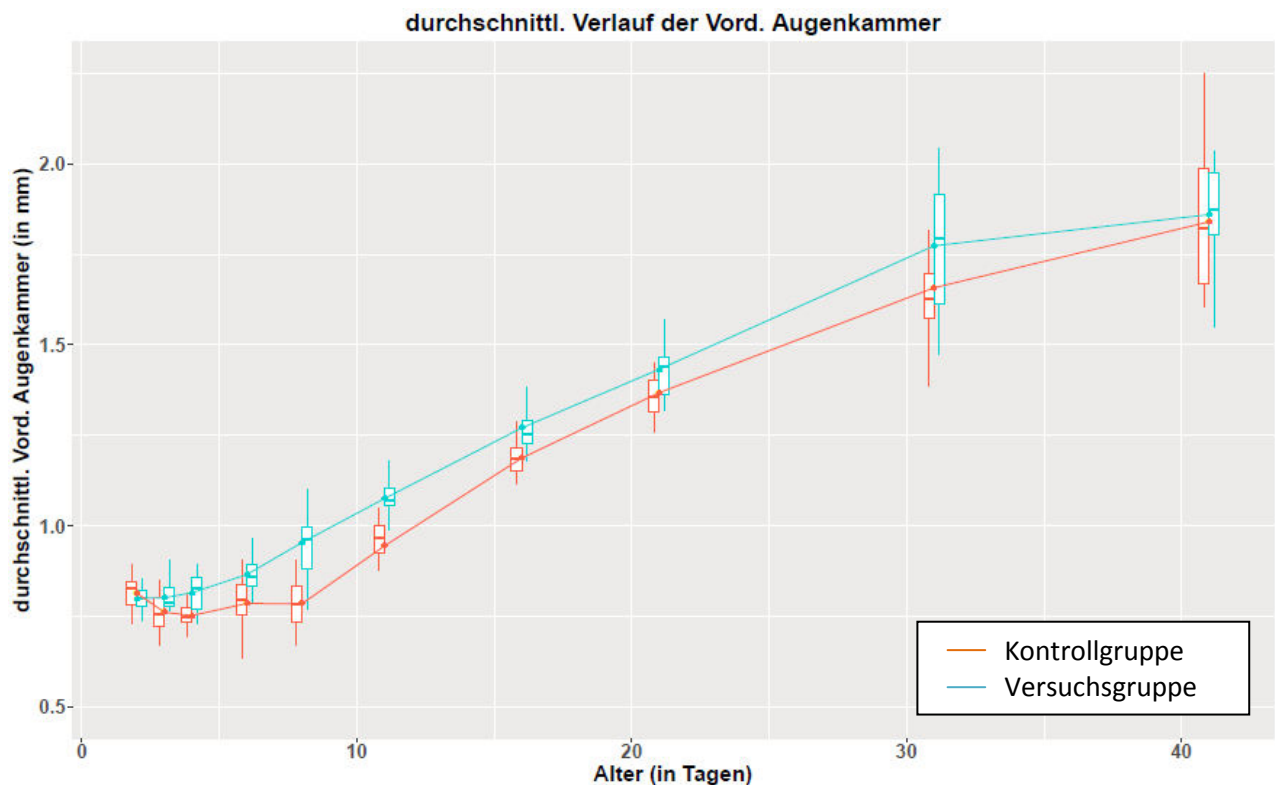


Abbildung 18: Durchschnittlicher Verlauf der vorderen Augenkammer

In der Abbildung 18 wird der Einfluss des Alters eines Huhns auf die Tiefe der vorderen Augenkammer deutlich. Während die Tiefe der vorderen Augenkammer bei den Hühnern der Versuchsgruppe ab Beginn der Messungen mit dem Alter konstant zunahm, stagnierte die Tiefe der vorderen Augenkammer bei der Kontrollgruppe zunächst und stieg erst ab Tag sieben konstant an. Die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe waren größtenteils gering. Lediglich die Messabweichung an Tag 30 bei der Versuchsgruppe und an Tag 40 bei der Kontrollgruppe differierte stärker. Die durchschnittliche Tiefe der vorderen Augenkammer in mm lag während des gesamten Versuchs über der der Kontrollgruppe und war erst an Messtag 40 nahezu identisch. Die Abweichung der durchschnittlichen Tiefe der vorderen Augenkammer lag im Durchschnitt bei ca. 6,5 %.

4.8 Linse axial

Tabelle 4: Modell Linse axial

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	2,3130	0,0092	252,7417	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,0232	0,0106	-2,2472	0,0253
Gewicht in %	-0,0006	0,0005	-1,2481	0,2128
Versuchsgruppe	-0,0438	0,0106	-4,1254	0,0000

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,8636	2,8636	538,0766	0,0000
Geschlecht: weiblich	2,6947	2,6947	623,0366	0,0000

Tabelle 4 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf die Größe der Linse axial. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf die axial vermessene Linse eines Huhnes zeigten. Der Intercept war die erwartete Größe der Linse axial, wenn alle anderen Kovariablen (zum Bsp. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte einen signifikanten Unterschied auf die Größe der axial vermessenen Linse. Der axiale Durchmesser der Linse eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,0238 mm kleiner, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war signifikant (p-Wert: $0,0253 < 0,05$).

Das Gewicht hingegen hatte keinen signifikanten Effekt auf die Größe der Linse axial (p-Wert: $0,2128 > 0,05$). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner keinen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe der axial vermessenen Linse.

Die erwartete Größe der axial vermessenen Linse eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,0438 mm unter der Größe der axial vermessenen Linse eines

Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war signifikant ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$), somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Größe des axialen Linsendurchmessers zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$) auf die Größe der axial vermessenen Linse und stieg im Mittel um 2,8636 mm beziehungsweise um 2,6947 mm.

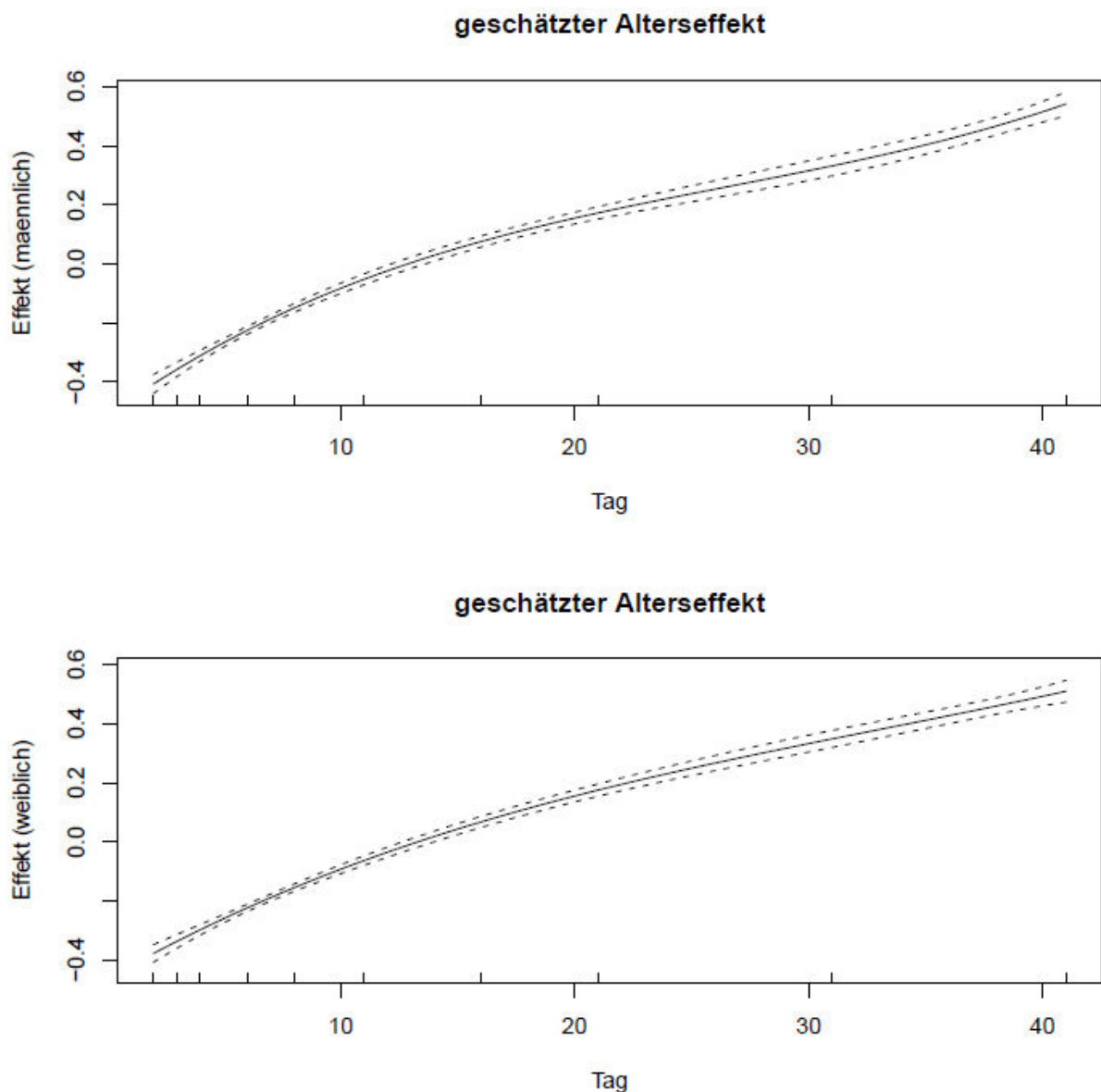


Abbildung 19: Der geschätzte Alterseffekt der Linse axial

Abbildung 19 zeigt den geschätzten Alterseffekt der axialen Linse, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn steigt zunächst stark an, bevor er ab Tag 15 lediglich degressiv, aber ab Tag 32 bzw. zum Versuchsende hin wieder stärker ansteigt. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes verläuft ganz ähnlich, allerdings ist der Anstieg der Kurve zum Versuchsende hin lediglich degressiv.

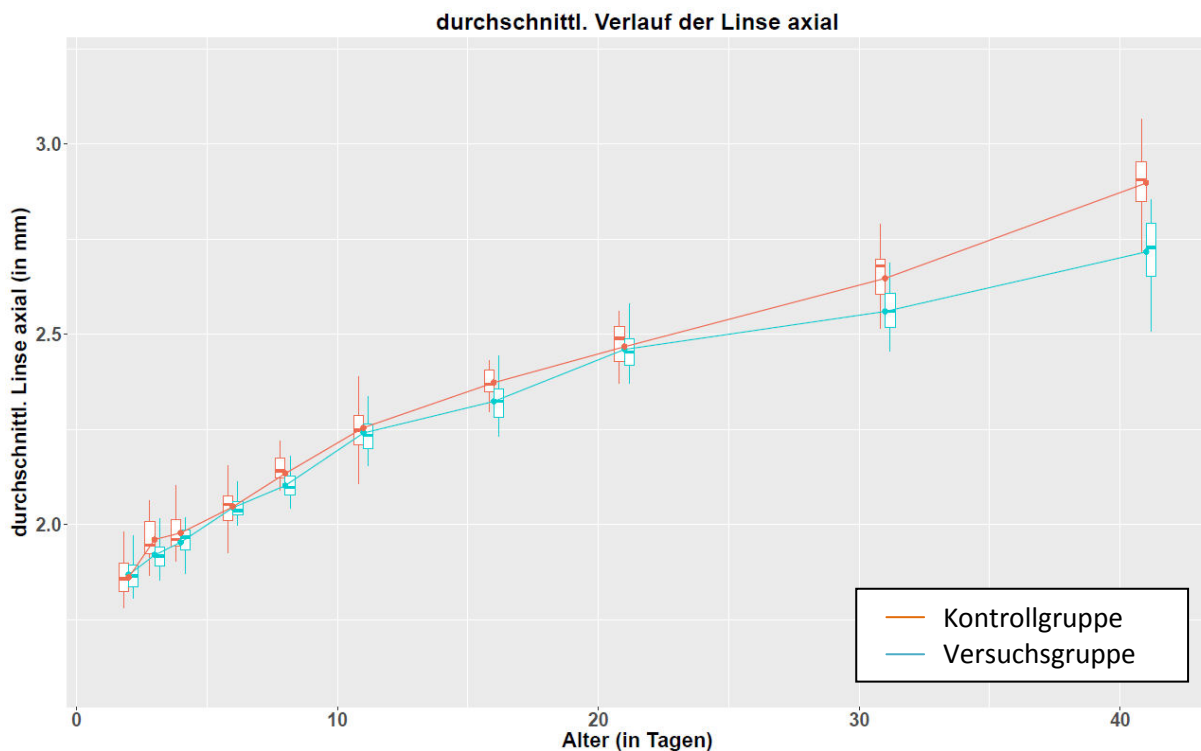


Abbildung 20: Durchschnittlicher Verlauf der Linse axial

In der Abbildung 20 wird der Einfluss des Alters eines Huhnes auf die Tiefe der axial vermessenen Linse deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe stieg die Tiefe der Linse axial von Beginn an deutlich an. Zu Beginn der Messungen waren die Werte beider Gruppen sehr ähnlich bis gleich. Erst ab Messtag 10 lagen die Messwerte der Kontrollgruppe leicht über den Werten der Versuchsgruppe, näherten sich aber an Messtag 20 an. Zwischen Messtag 22 und 40 wichen die Messwerte tendenziell immer weiter voneinander ab. Die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe waren größtenteils gering. Lediglich die Messabweichung an Tag 40 differierte stärker. Die

durchschnittliche Tiefe der Linse axial der Versuchsgruppe lag, bis auf Messtag eins, während des gesamten Versuchs unter der der Kontrollgruppe. Die Abweichung der durchschnittlichen Größe der axial vermessenen Linse lag bei ca. 2,2 %.

4.9 Linse transversal

Tabelle 5: Modell Linse transversal

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	4,4690	0,0414	107,9852	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,0534	0,0480	-1,1126	0,2667
Gewicht in %	-0,0051	0,0023	2,2822	0,0231
Versuchsgruppe	0,2470	0,0481	5,1405	0,0000

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,4859	2,4859	225,6909	0,0000
Geschlecht: weiblich	2,3413	2,3413	324,3629	0,0000

Tabelle 5 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf die Größe der transversal vermessenen Linse. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf die Größe der Linse transversal eines Huhns hatten. Der Intercept war die erwartete Größe der transversal vermessenen Linse, wenn alle anderen Kovariablen (zum Bsp. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Unterschied auf die Größe der transversal vermessenen Linse. Der transversale Durchmesser der Linse eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,0534 mm kleiner, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war nicht signifikant (p-Wert: 0,2667 > 0,05).

Das Gewicht hingegen hatte einen signifikanten Effekt auf die Tiefe der Linse transversal (p-Wert: 0,0231 < 0,05). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des

Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner einen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe der transversal vermessenen Linse.

Die erwartete Tiefe der transversal vermessenen Linse eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,2470 mm über der Größe der transversal vermessenen Linse eines Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war signifikant (p-Wert: $0,000 < 0,05$), somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Größe der transversal vermessenen Linse zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt (p-Wert: $0,000 < 0,05$) auf die Größe der transversal vermessenen Linse und stieg im Mittel um 2,4859 mm beziehungsweise um 2,3413 mm.

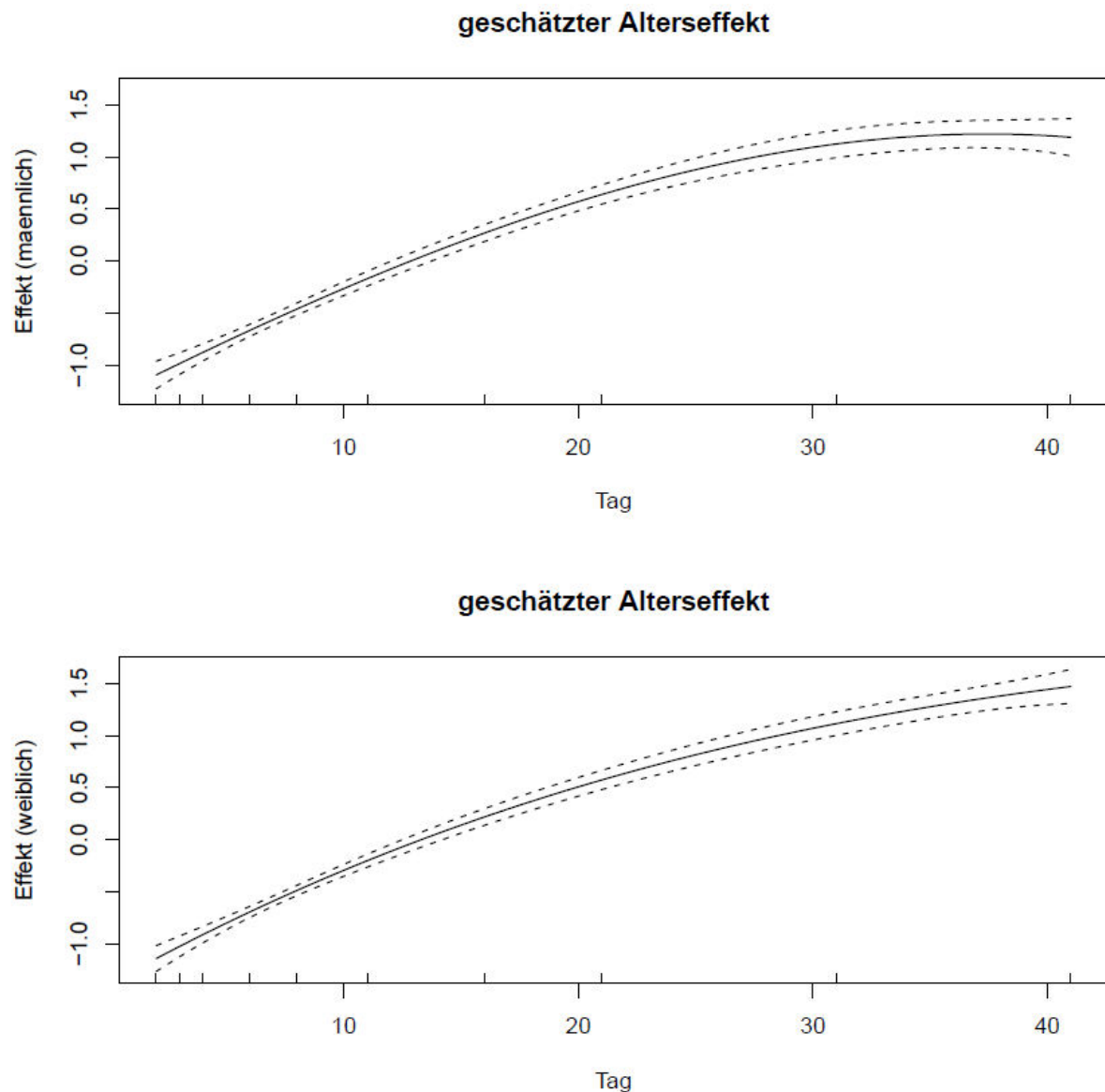


Abbildung 21: Der geschätzte Alterseffekt der Linse transversal

Abbildung 21 zeigt den geschätzten Alterseffekt der transversalen Linse, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn steigt zunächst stark an, flacht zunehmend ab und zeigt gegen Versuchsende eine regressive Tendenz. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes verläuft ähnlich, steigt allerdings stetig an.

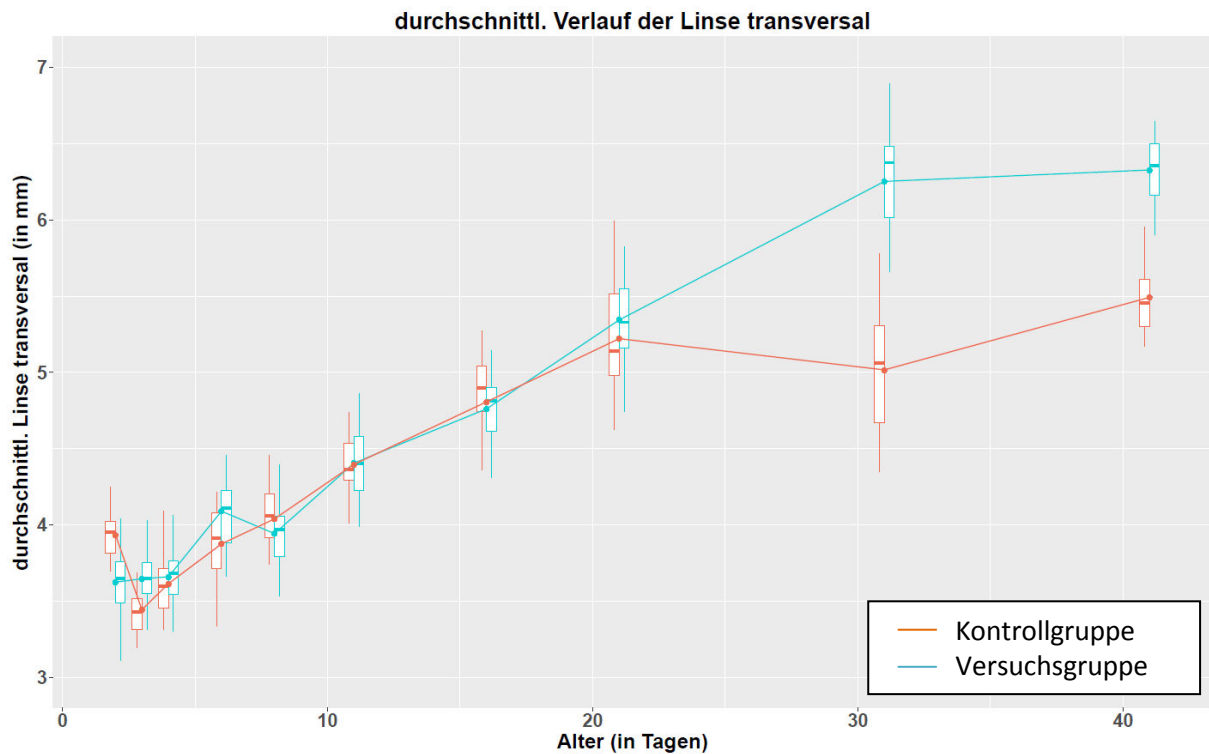


Abbildung 22: Durchschnittlicher Verlauf der Linse transversal

In der Abbildung 22 wird der Einfluss des Alters eines Huhnes auf die transversal vermessene Linse deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe stieg die Tiefe der Linse transversal nicht konstant an, sondern schwankte im Verlauf des Versuchs. Zu Beginn der Messungen lag der Messwert der Kontrollgruppe deutlich über dem Messwert der Versuchsgruppe. Zwischen Messtag sieben und Messtag 20 lagen die Werte der beiden Gruppen nah beieinander. Ab Messtag 20 wichen die Werte der Versuchs- und Kontrollgruppe allerdings deutlich voneinander ab. Während die Schwankung der Versuchsgruppe lediglich in den ersten Tagen des Versuchs auftrat, schwankten die Messwerte der Kontrollgruppe sowohl zu Beginn, als auch zum Ende des Versuchs.

Die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe waren teilweise sehr deutlich. Vor allem an Messtag 20 und 30 zeigten sowohl Versuchs- als auch Kontrollgruppe eine starke Streuung der Messwerte. Die Kurven der beiden Gruppen schnitten sich im Verlauf des Versuchs mehrmals. Die Abweichung der durchschnittlichen Tiefe der Linse transversal lag bei ca. 5,2 %.

4.10 Glaskörper axial

Tabelle 6: Modell Glaskörper axial

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	6,0297	0,0287	209,7891	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,1530	0,0334	-4,5830	0,0000
Gewicht in %	0,0078	0,0016	4,9435	0,0000
Versuchsgruppe	0,1047	0,0334	3,1334	0,0019

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,1807	2,1807	734,2413	0,0000
Geschlecht: weiblich	1,8777	1,8777	965,4304	0,0000

Tabelle 6 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf die Tiefe des axial vermessenen Glaskörpers. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf den Glaskörper eines Huhns hatten. Der Intercept war die erwartete Größe des axialen Glaskörpers, wenn alle anderen Kovariablen (z.B. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte einen signifikanten Unterschied auf die Größe des axial vermessenen Glaskörpers. Der axiale Durchmesser des Glaskörpers eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,1530 mm kleiner, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war signifikant ($p\text{-Wert: } 0,0000 < 0,05$).

Das Gewicht hatte ebenfalls einen signifikanten Effekt auf die Tiefe des Glaskörpers ($p\text{-Wert: } 0,0000 < 0,05$). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner einen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe des Glaskörpers.

Die erwartete Tiefe des Glaskörpers eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,1047 mm über der eines Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war

signifikant ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$), somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Größe des Glaskörpers zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$) auf die Größe des axial vermessenen Glaskörpers und stieg im Mittel um 2,1807 mm beziehungsweise um 1,8777 mm.

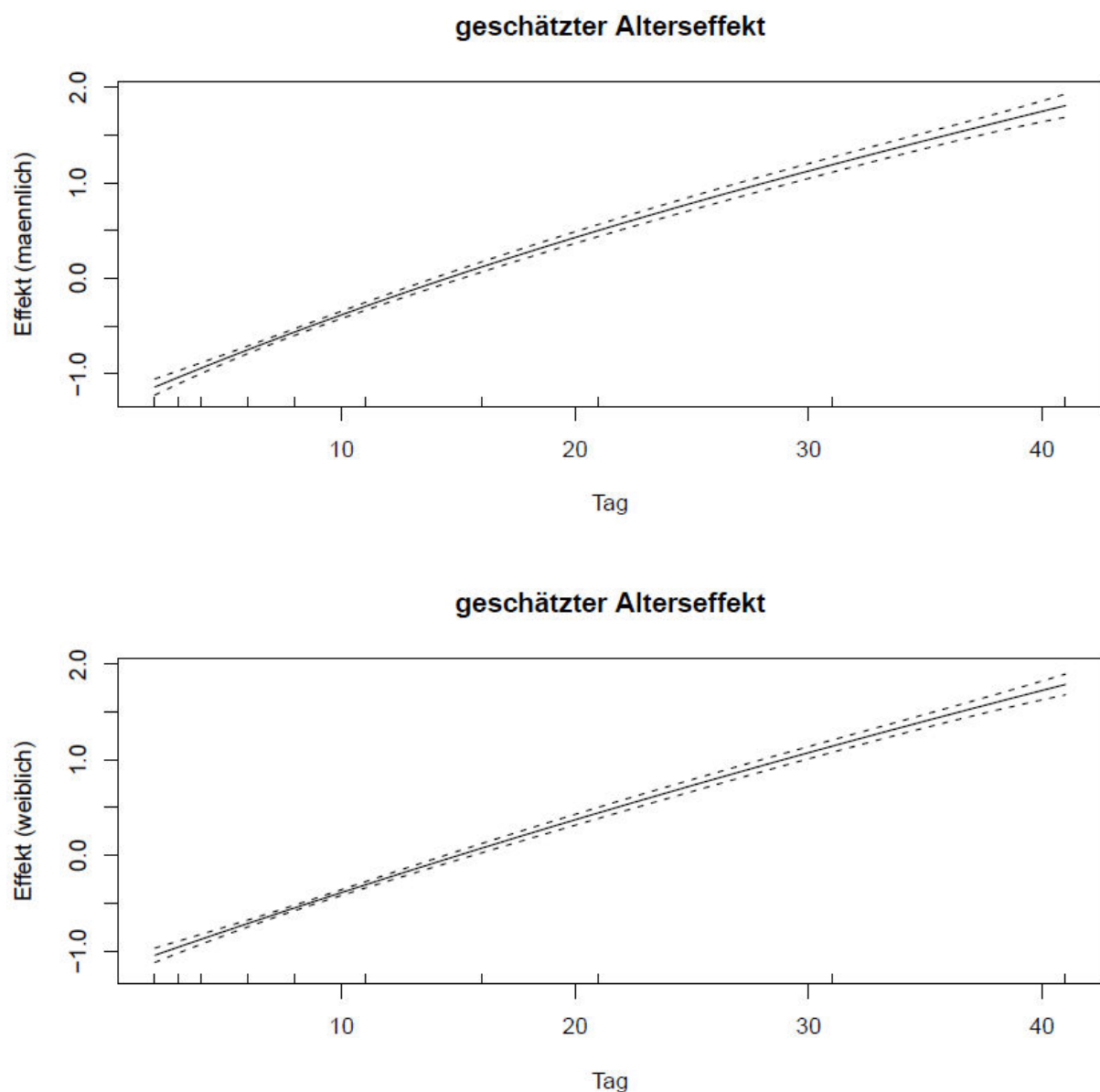


Abbildung 23: Der geschätzte Alterseffekt des Glaskörpers axial

Abbildung 23 zeigt den geschätzten Alterseffekt des axialen Glaskörpers, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Der geschätzte Alterseffekt beim

männlichen Huhn verläuft beinahe linear steigend. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes verläuft ebenfalls beinahe linear steigend.

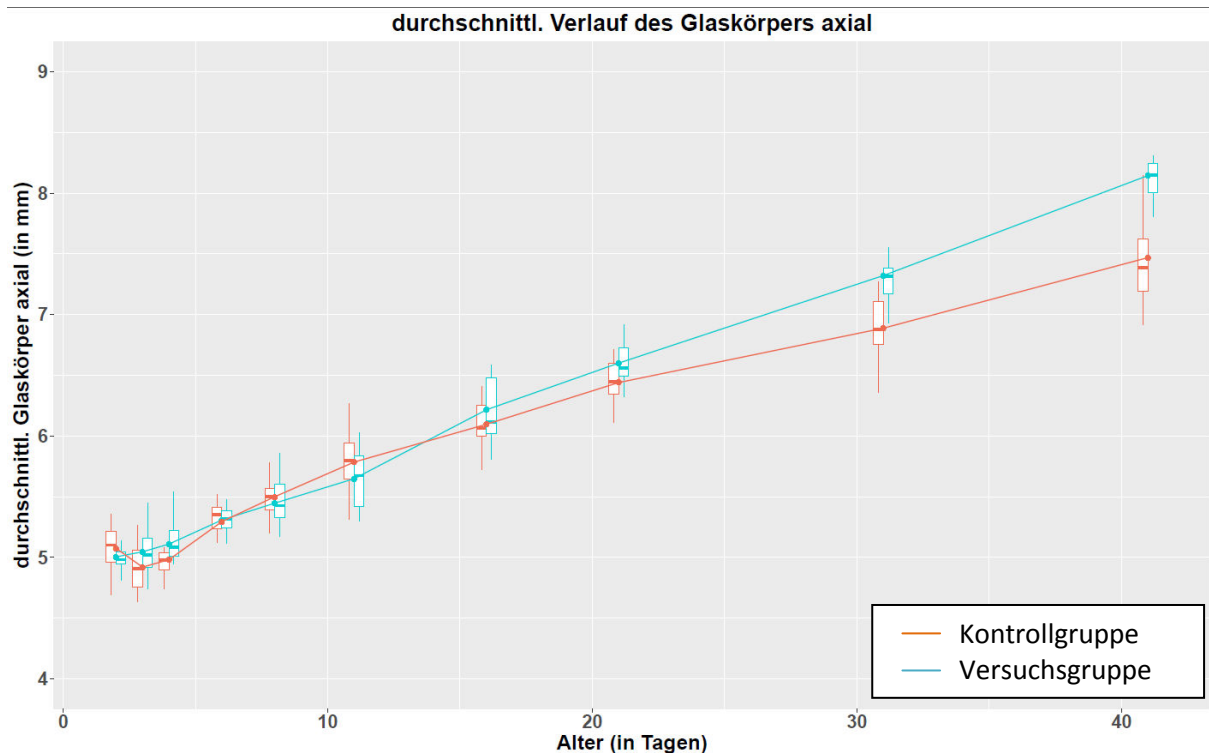


Abbildung 24: Durchschnittlicher Verlauf des Glaskörpers axial

In Abbildung 24 wird der Einfluss des Alters eines Huhns auf die Tiefe des Glaskörpers deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe stieg die Tiefe des Glaskörpers insgesamt an. Zu Beginn der Messungen lag der Messwert der Kontrollgruppe über dem Messwert der Versuchsgruppe, nahm dann aber im weiteren Verlauf der Kurve zunächst ab, bevor sie konstant anstieg. Beide Kurven schnitten sich in den ersten 15 Messtagen mehrmals. Zwischen Messtag 15 und Messtag 40 entfernten sich die Werte der beiden Gruppen immer mehr voneinander.

Während die Schwankung der Kontrollgruppe lediglich in den ersten Tagen des Versuchs auftrat, schwankten die Messwerte der Versuchsgruppe zu keinem Zeitpunkt.

Die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe waren teilweise deutlich zu erkennen. Vor allem an Messtag 10 und 15 hinsichtlich Versuchsgruppe

bzw. an Messtag 30 und 40 hinsichtlich Kontrollgruppe, zeigten sowohl Versuchs- als auch Kontrollgruppe starke Streuungen der Messwerte. Die Abweichung der durchschnittlichen Tiefe des Glaskörpers lag bei ca. 3 %.

4.11 Hintere Augenwand

Tabelle 7: Modell hintere Augenwand

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	0,7271	0,0120	60,5082	0,0000
Geschlecht: weiblich	0,0163	0,0139	1,1709	0,2424
Gewicht in %	0,0001	0,0007	0,1717	0,8638
Versuchsgruppe	-0,0397	0,0139	-2,8506	0,0046

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,7471	2,7471	76,4247	0,0000
Geschlecht: weiblich	2,8163	2,8163	78,8035	0,0000

Tabelle 7 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf die Tiefe der hinteren Augenwand. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf die hintere Augenwand eines Huhns hatten. Der Intercept war die erwartete Größe der hinteren Augenwand, wenn alle anderen Kovariablen (zum Bsp. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Unterschied auf die Dicke der hinteren Augenwand. Die Augenwandstärke eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,0163 mm größer, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war nicht signifikant (p-Wert: 0,2424 > 0,05).

Das Gewicht hatte ebenfalls keinen signifikanten Effekt auf die Tiefe der hinteren Augenwand (p-Wert: 0,8638 > 0,05). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des

Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner keinen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe der hinteren Augenwand.

Die erwartete Tiefe der hinteren Augenwand eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,0397 mm unter der eines Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war signifikant ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$), somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Größe der hinteren Augenwand zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$) auf die Tiefe der hinteren Augenwand und stieg im Mittel um 2,7471 mm beziehungsweise um 2,8163 mm.

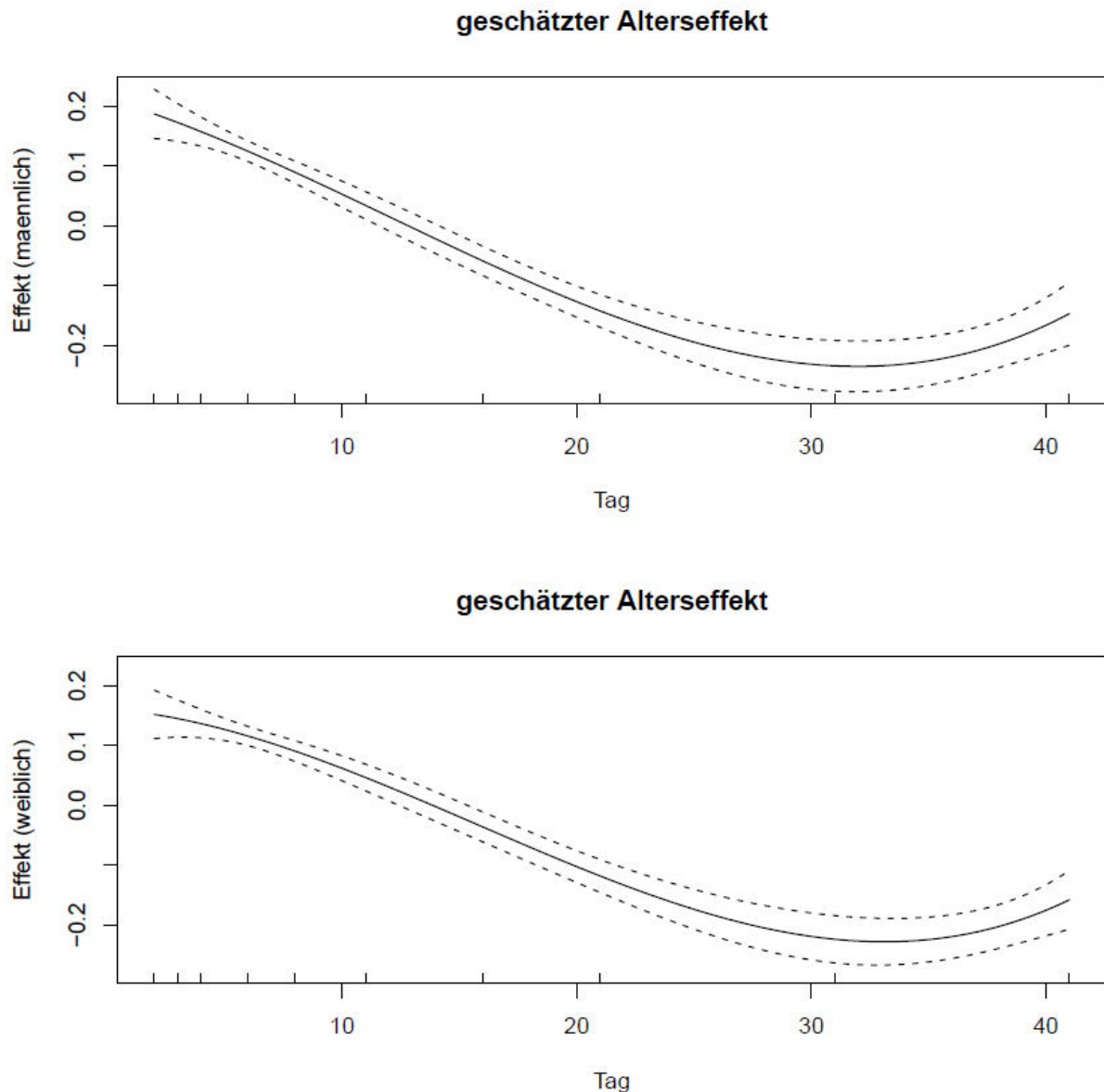


Abbildung 25: Der geschätzte Alterseffekt der hinteren Augenwand

Abbildung 25 zeigt den geschätzten Alterseffekt der hinteren Augenwand, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn sinkt zunächst, bevor er an Tag 33 den tiefsten Punkt erreicht hat und im weiteren Verlauf wieder stark ansteigt. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes verläuft beinahe analog der Kurve der männlichen Hühner.

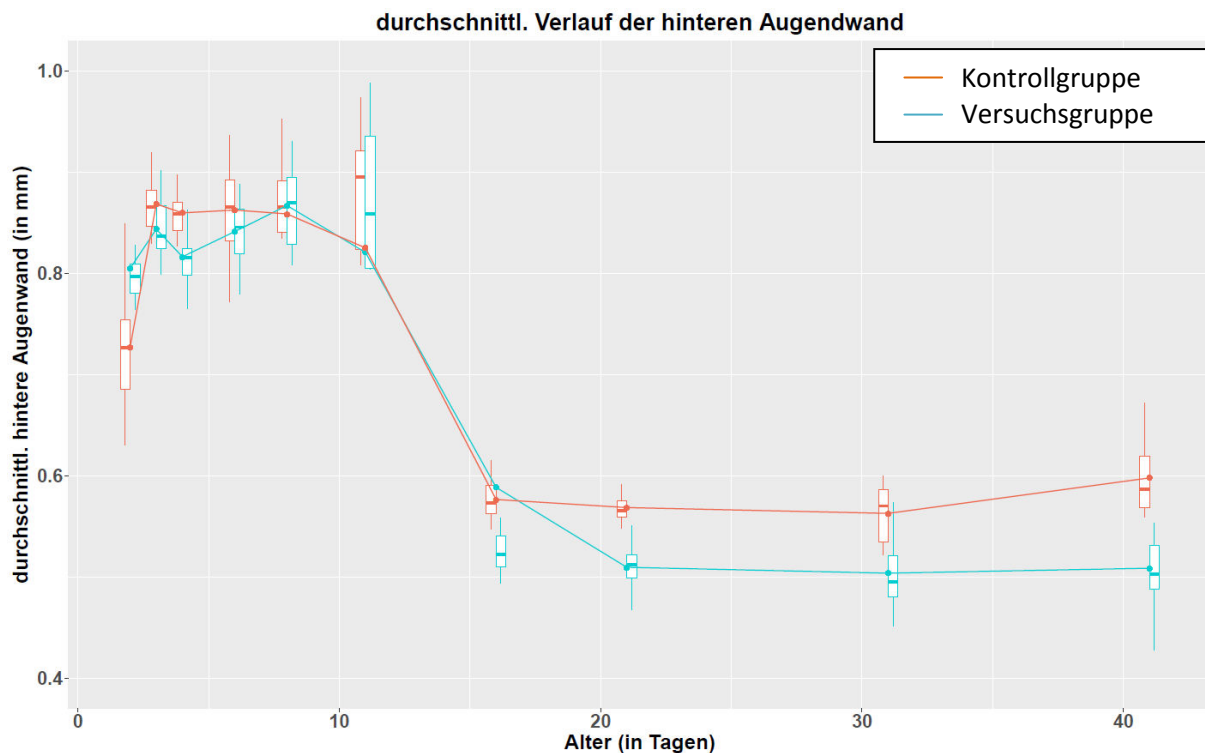


Abbildung 26: Durchschnittlicher Verlauf der hinteren Augendwand

In Abbildung 26 wird der Einfluss des Alters eines Huhnes auf die Tiefe der hinteren Augendwand deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe sank die Dicke der hinteren Augendwand insgesamt ab.

Zu Beginn der Messungen lag der Messwert der Versuchsgruppe weit über dem Messwert der Kontrollgruppe, nahm dann aber im weiteren Verlauf der Kurve zunächst zu, bevor die Dicke der hinteren Augendwand ab Messtag 10 wieder stark abnahm und dann ab Messtag 20 konstant verlief. Die Kurve der Kontrollgruppe stieg ebenfalls zunächst stark an, verlief im Weiteren konstant, bevor die Dicke der hinteren Augendwand, analog zur Versuchsgruppe stark abnahm und ab Messtag 15 wieder konstant verlief. Beide Kurven schnitten sich in den ersten 15 Messtagen mehrmals. Zwischen Messtag acht und Messtag 15 lagen die Messwerte im Mittel sehr nah beieinander und wichen im weiteren Verlauf wieder voneinander ab. Die Schwankung der Kurven beider Gruppen war vor allem vor Messtag 15 sehr deutlich.

Die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe waren teilweise deutlich zu erkennen. Vor allem an Messtag sieben und 10 hinsichtlich

Versuchsgruppe bzw. an Messtag zwei, fünf und 10 hinsichtlich Kontrollgruppe, zeigten sowohl Versuchs- als auch Kontrollgruppe starke Streuung der Messwerte. Die Abweichung der durchschnittlichen Tiefe des Glaskörpers lag bei ca. 2,9 %.

4.12 Bulbus axial

Tabelle 8: Modell Bulbus axial

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	10,6418	0,0279	380,9938	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,2174	0,0324	-6,7095	0,0000
Gewicht in %	0,0081	0,0015	5,3106	0,0000
Versuchsgruppe	0,0730	0,0325	2,2497	0,0251

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,3678	2,3678	1819,5503	0,0000
Geschlecht: weiblich	2,3788	2,3788	1989,8839	0,0000

Tabelle 8 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf die Tiefe des Bulbus axial. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf den axial vermessenen Bulbus eines Huhnes hatten. Der Intercept war die erwartete Größe des axialen Bulbus, wenn alle anderen Kovariablen (zum Bsp. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte einen signifikanten Unterschied auf die Größe des axial vermessenen Bulbus. Der axiale Durchmesser des Bulbus eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,2174 mm kleiner, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war signifikant (p-Wert: $0,0000 < 0,05$).

Das Gewicht hatte ebenfalls einen signifikanten Effekt auf die Tiefe des axialen Bulbus (p-Wert: $0,0000 < 0,05$). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des

Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner einen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe des axial vermessenen Bulbus.

Die erwartete Tiefe des axialen Bulbus eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,0730 mm über der eines Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war signifikant ($p\text{-Wert: } 0,0251 < 0,05$). Somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Größe des axial vermessenen Bulbus zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$) auf die Größe des axial vermessenen Bulbus und stieg im Mittel um 2,3678 mm beziehungsweise um 2,3788 mm.

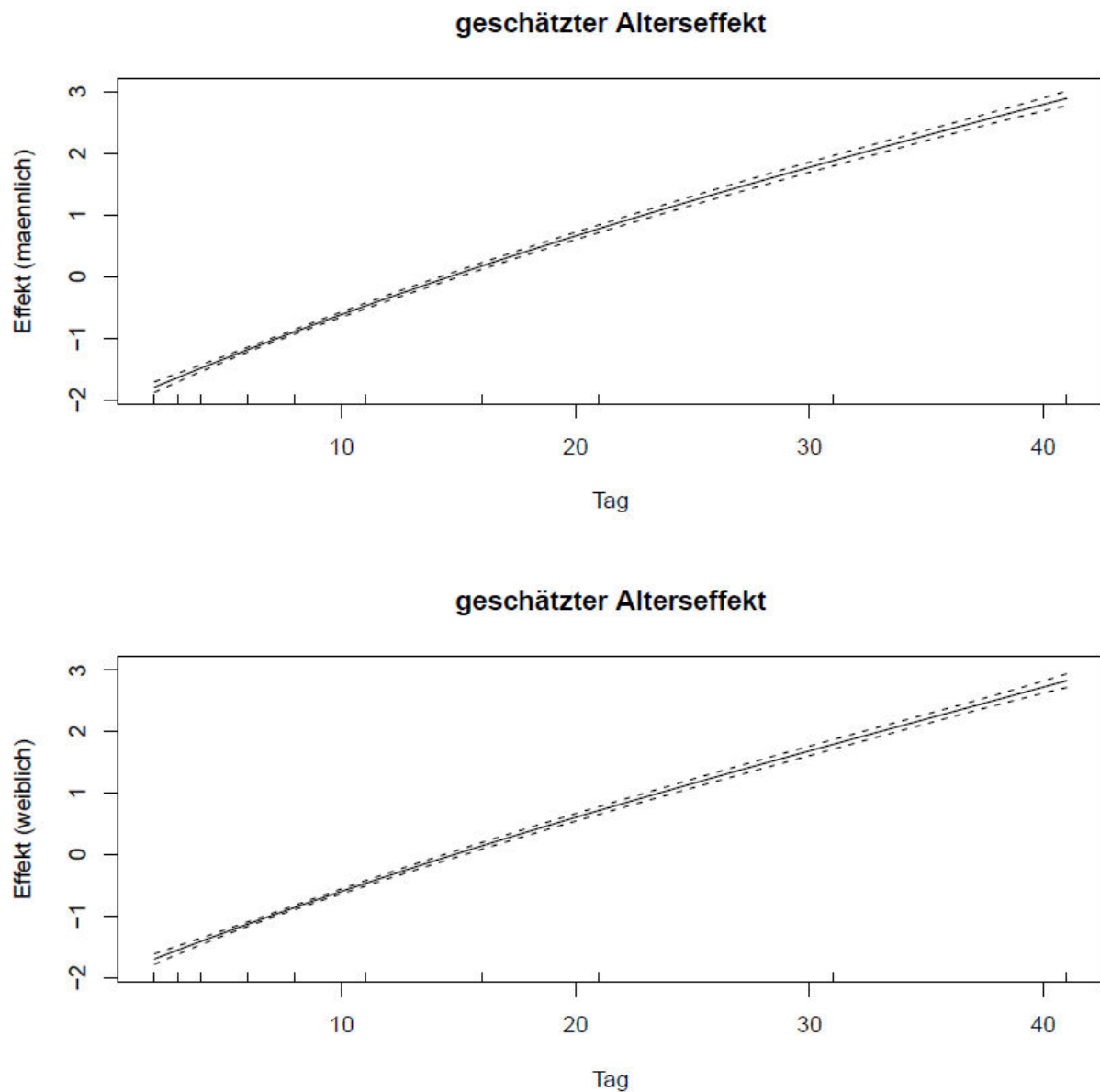


Abbildung 27: Der geschätzte Alterseffekt des Bulbus axial

Abbildung 27 zeigt den geschätzten Alterseffekt des axialen Bulbus, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn der Versuchsgruppe. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn steigt beinahe linear an. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes steigt ebenfalls beinahe linear an.

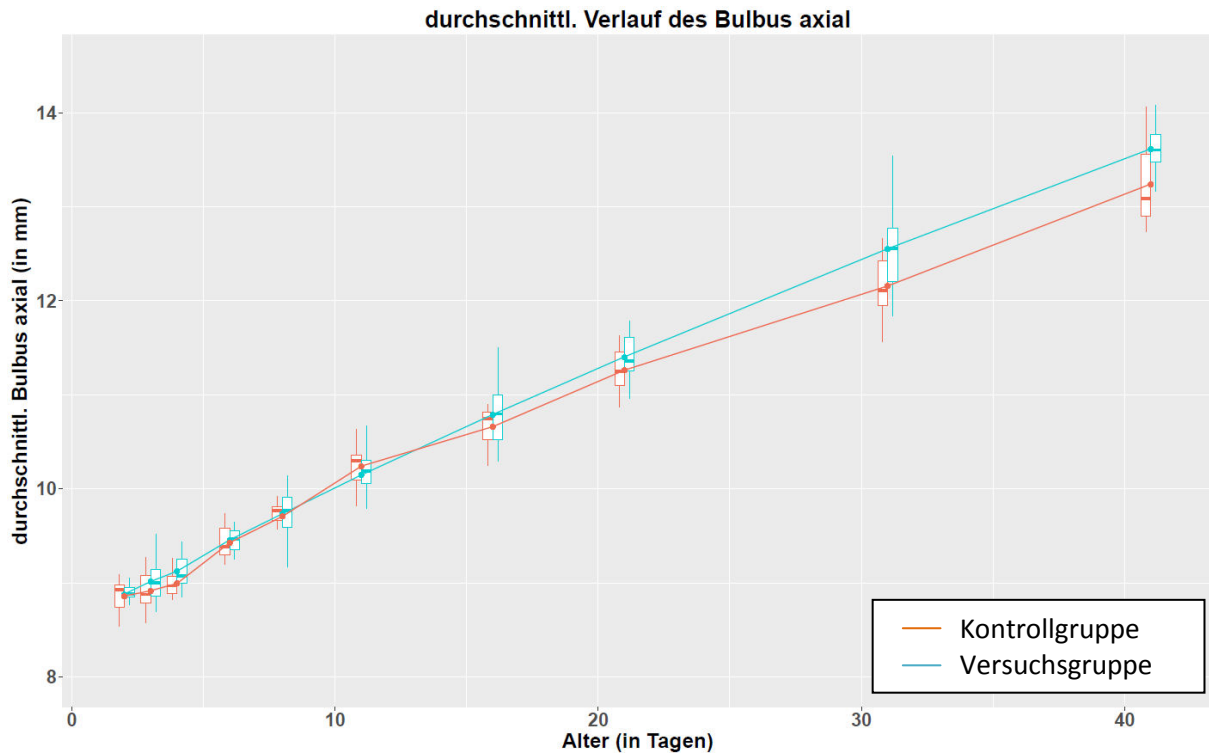


Abbildung 28: Durchschnittlicher Verlauf des Bulbus axial

In Abbildung 28 wird der Einfluss des Alters eines Huhns auf die Tiefe des axial vermessenen Bulbus deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe stieg die Tiefe des Bulbus insgesamt an. In den ersten 15 Versuchstagen lagen die Messwerte von Kontroll- und Versuchsgruppe dicht beieinander, schnitten sich aber auch mehrmals. In der zweiten Versuchshälfte (ab Versuchstag 16) differierten die Kurven von Kontroll- und Versuchsgruppe.

Die Kurve der Kontrollgruppe schwankte in den ersten 16 Versuchstagen leicht, während die Kurve der Versuchsgruppe relativ konstant anstieg.

Die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe waren im gesamten Versuchsverlauf relativ gering. Lediglich die Messungen der Versuchsgruppe an Tag 30 und die Messungen der Kontrollgruppe an Tag 40 streuten stärker. Die Abweichung der durchschnittlichen Tiefe des axialen Bulbus lag bei ca. 1,4 %.

4.13 Augenfächer

Tabelle 9: Modell Augenfächer axial

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	3,9853	0,0245	162,4580	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,0743	0,0286	-2,5982	0,0098
Gewicht in %	0,0028	0,0013	2,0868	0,0376
Versuchsgruppe	0,2033	0,0286	7,1107	0,0000

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	1,6994	1,6994	158,2065	0,0000
Geschlecht: weiblich	2,0739	2,0739	140,1038	0,0000

Tabelle 9 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf die Höhe des Augenfächers. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf den Augenfächer eines Huhnes hatten. Der Intercept war die erwartete Größe des Augenfächers, wenn alle anderen Kovariablen (zum Bsp. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte einen signifikanten Unterschied auf die Höhe des axial vermessenen Augenfächers. Die erwartete Höhe des Augenfächers eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,0743 mm kleiner, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war signifikant (p-Wert: $0,0098 < 0,05$).

Das Gewicht hatte ebenfalls einen signifikanten Effekt auf die Höhe des Augenfächers (p-Wert: $0,0376 < 0,05$). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner einen signifikanten Einfluss auf die erwartete Höhe des Augenfächers.

Die erwartete Höhe des Augenfächers eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um 0,2033 mm über der Höhe des Augenfächers eines Huhns aus der Kontrollgruppe. Dieser

geschätzte Effekt war signifikant ($p\text{-Wert: } 0,0000 < 0,05$), somit gab es einen signifikanten Unterschied in der erwarteten Höhe des Augenfächers zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt ($p\text{-Wert: } 0,000 < 0,05$) auf die Höhe des Augenfächers und stieg im Mittel um 1,6994 mm beziehungsweise um 2,0739 mm.

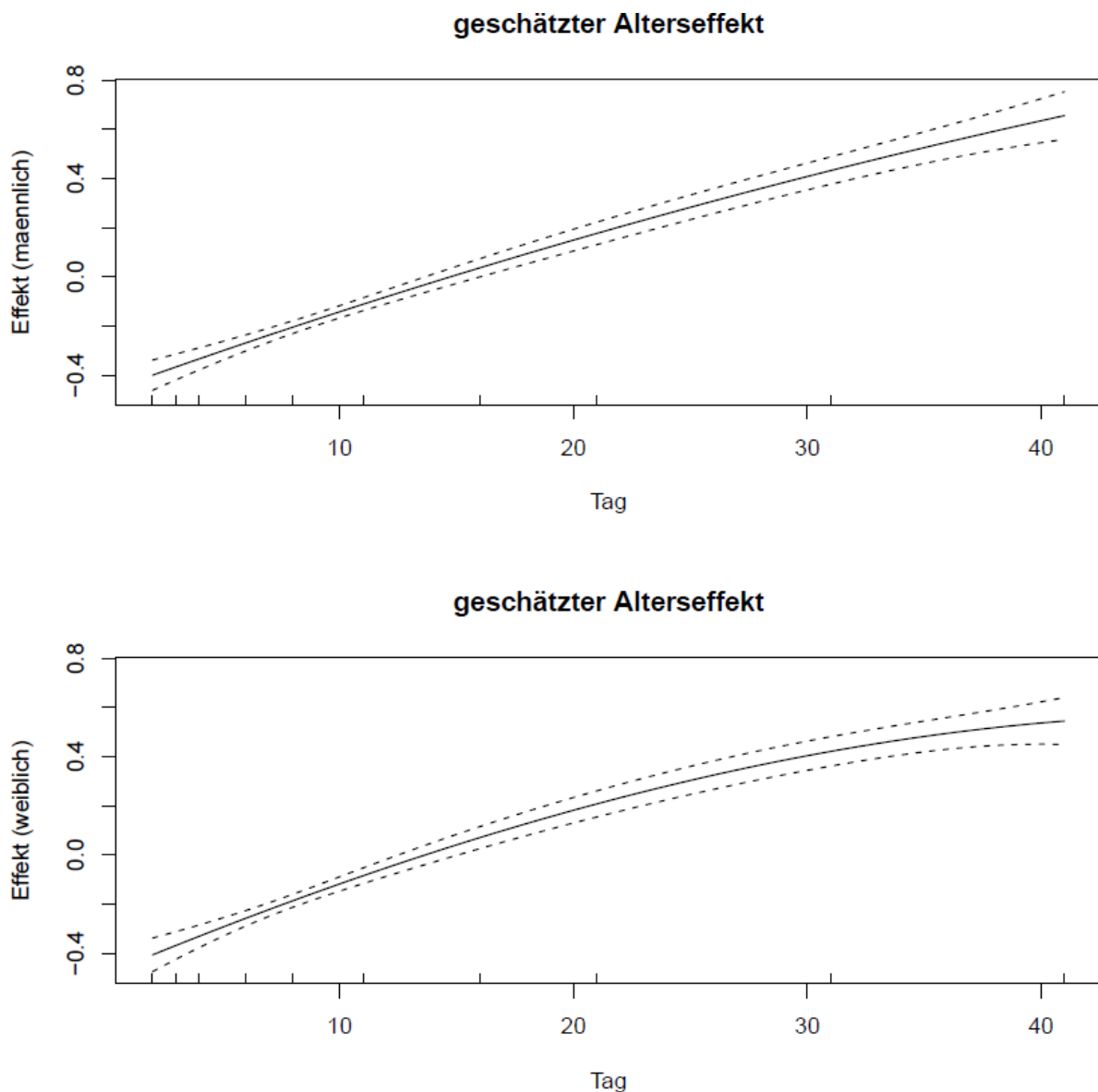


Abbildung 29: Der geschätzte Alterseffekt des Augenfächers axial

Abbildung 29 zeigt den geschätzten Alterseffekt des axialen Augenfächers, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn steigt während des gesamten Versuchs konstant an. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes verläuft ähnlich, allerdings ist der Anstieg der Kurve zum Versuchsende (ca. ab Tag 30) hin degressiver.

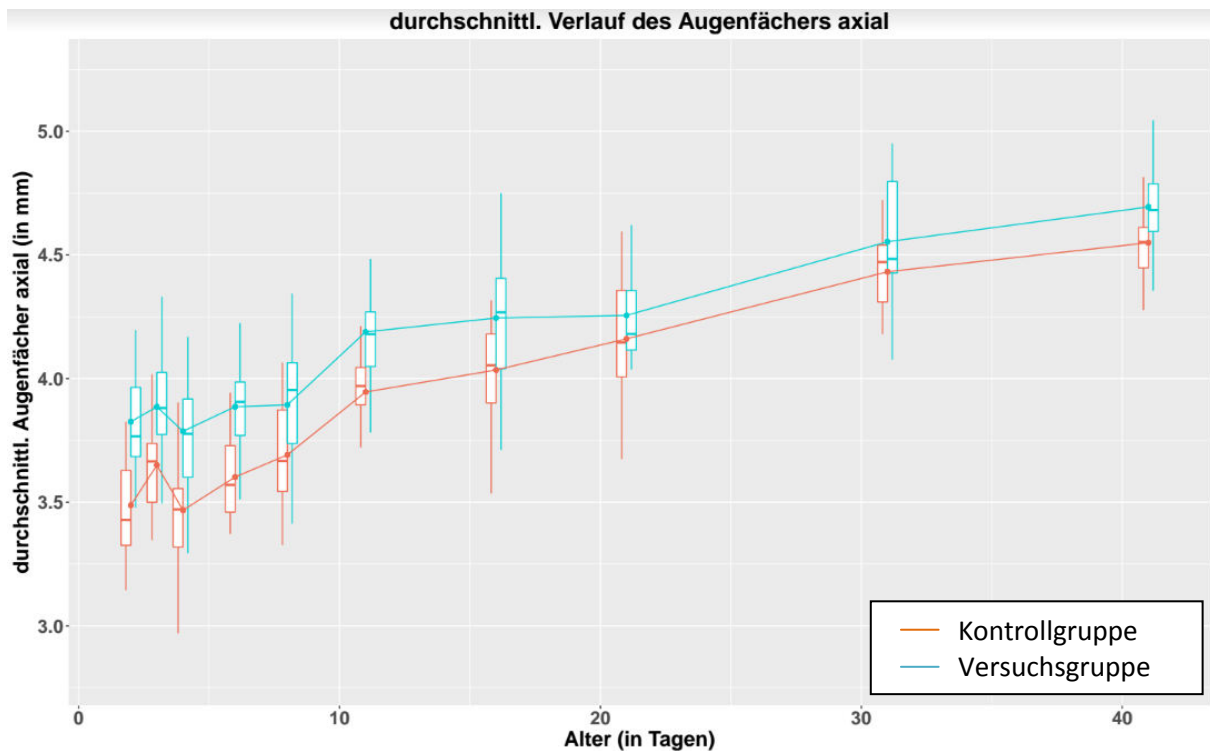


Abbildung 30: Durchschnittlicher Verlauf des Augenfächers axial

In Abbildung 30 wird der Einfluss des Alters eines Huhns auf die Höhe des Augenfächers deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe stieg die Höhe des Augenfächers insgesamt an. Im gesamten Versuchsverlauf lagen die Messwerte der Versuchsgruppe über den Messwerten der Kontrollgruppe. Beide Kurven schnitten sich zu keiner Zeit des Versuchs.

Die Kurven beider Gruppen unterlagen vor allem in den ersten Versuchstagen starken Schwankungen und beruhigten sich erst zum Ende des Versuchsverlaufs hin.

Auffällig war außerdem, dass die Abweichungen der Messungen bei Versuchs- und Kontrollgruppe im gesamten Versuchsverlauf sehr deutlich ausfielen. Die Streuung der Messungen war beim Augenfächer sehr ausgeprägt. Die Abweichung der durchschnittlichen Tiefe des Augenfächers lag bei ca. 4,7 %.

4.14 Intraokularer Druck

Tabelle 10: Modell intraokularer Druck

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	8,7565	0,0985	88,8897	0,0000
Geschlecht: weiblich	-0,0828	0,1139	-0,7268	0,4678
Gewicht in %	-0,0107	0,0054	-1,9955	0,0468
Versuchsgruppe	-0,2113	0,1138	-1,8563	0,0642

	Edf	Ref.df	f	p-value
Geschlecht: männlich	2,8240	2,8240	40,9193	0,0000
Geschlecht: weiblich	1,0000	1,0000	60,2336	0,0000

Tabelle 10 zeigt die statistischen Ergebnisse verschiedener Einflussfaktoren, das heißt Geschlecht, Gewicht, Alter und Lichtintensität, bezogen auf den Augeninnendruck. Zudem zeigt sie, inwiefern diese Einflussfaktoren einen signifikanten Effekt auf den Augeninnendruck eines Huhns hatten. Der Intercept war die erwartete Größe des intraokularen Drucks, wenn alle anderen Kovariablen (zum Bsp. Alter, Gewicht) in der statistischen Auswertung nicht in Betracht gezogen wurden. Somit war er für die Betrachtung irrelevant.

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Unterschied auf den intraokulären Druck. Der erwartete Augeninnendruck eines weiblichen Huhnes war im Vergleich zum männlichen Huhn um 0,0828 mm Hg niedriger, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten wurden. Dieser geschätzte Effekt war nicht signifikant ($p\text{-Wert: } 0,4678 > 0,05$).

Das Gewicht hatte einen signifikanten Effekt auf den Augeninnendruck (p-Wert: $0,0468 < 0,05$). Deshalb hatte die prozentuale Abweichung des Gewichtes vom Durchschnittsgewicht der am gleichen Tag untersuchten Hühner einen signifikanten Einfluss auf die erwartete Größe des Augeninnendrucks.

Die erwartete Größe des Augeninnendrucks eines Huhns aus der Versuchsgruppe, unter Konstanthaltung aller anderen Einflussgrößen, lag im Mittel hingegen um $0,2113 \text{ mm Hg}$ über dem intraokulären Druck eines Huhnes aus der Kontrollgruppe. Dieser geschätzte Effekt war nicht signifikant (p-Wert: $0,0642 < 0,05$), somit gab es keinen signifikanten Unterschied des Augeninnendrucks zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das Alter hatte sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt (p-Wert: $0,000 < 0,05$) auf die Höhe des Augeninnendrucks und stieg im Mittel um $2,8420 \text{ mm Hg}$ beziehungsweise um $1,0000 \text{ mm Hg}$.

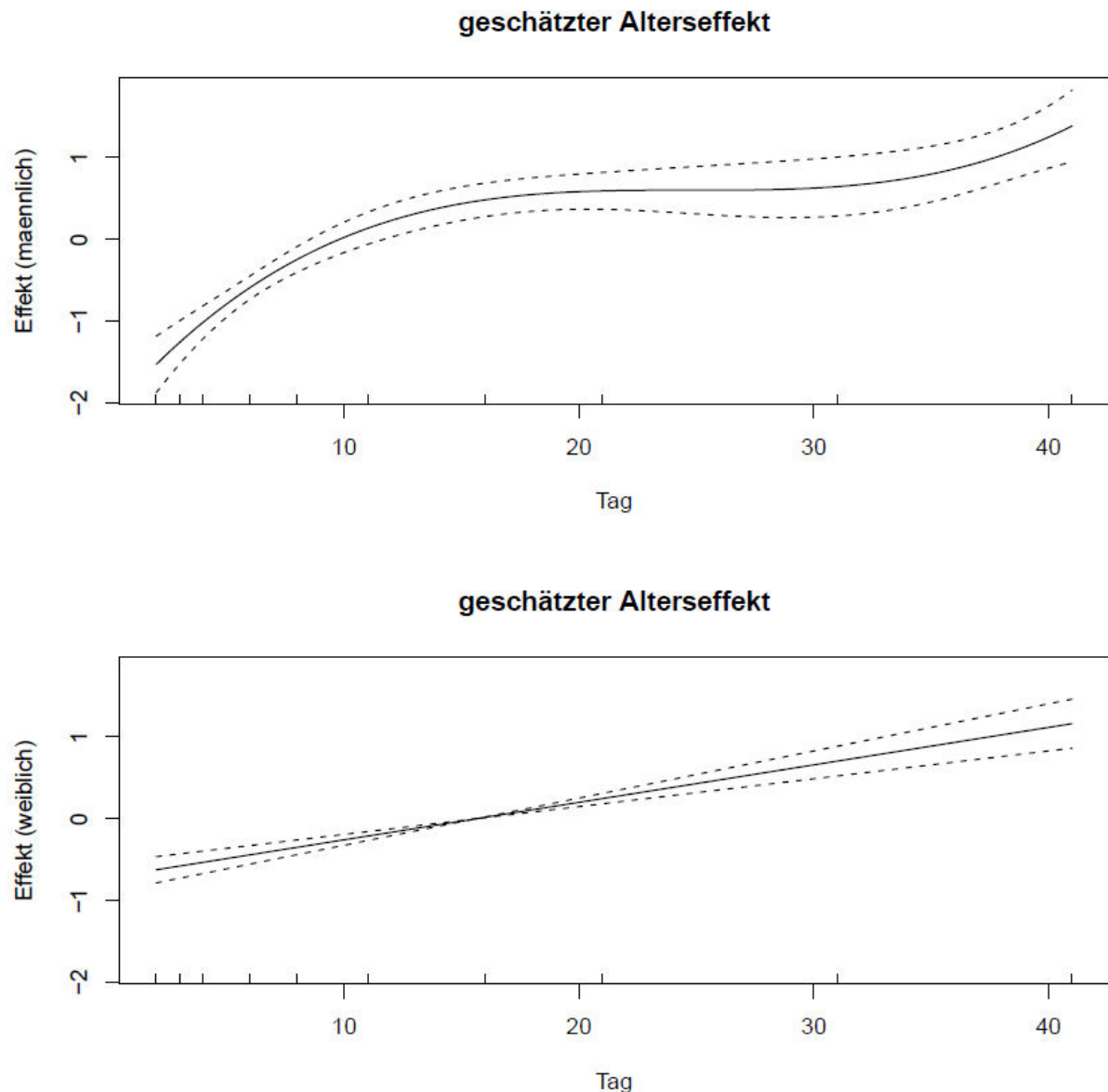


Abbildung 31: Der geschätzte Alterseffekt des intraokularen Druckes

Abbildung 31 zeigt den geschätzten Alterseffekt des intraokularen Druckes, sowohl beim weiblichen als auch beim männlichen Huhn. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn unterscheidet sich stark zum Alterseffekt eines weiblichen Huhnes. Der geschätzte Alterseffekt beim männlichen Huhn steigt zunächst an, verläuft ab Tag 15 horizontal und steigt ab Tag 32 wieder an. Der geschätzte Alterseffekt eines weiblichen Huhnes verläuft linear und steigt während des gesamten Versuchs leicht an.

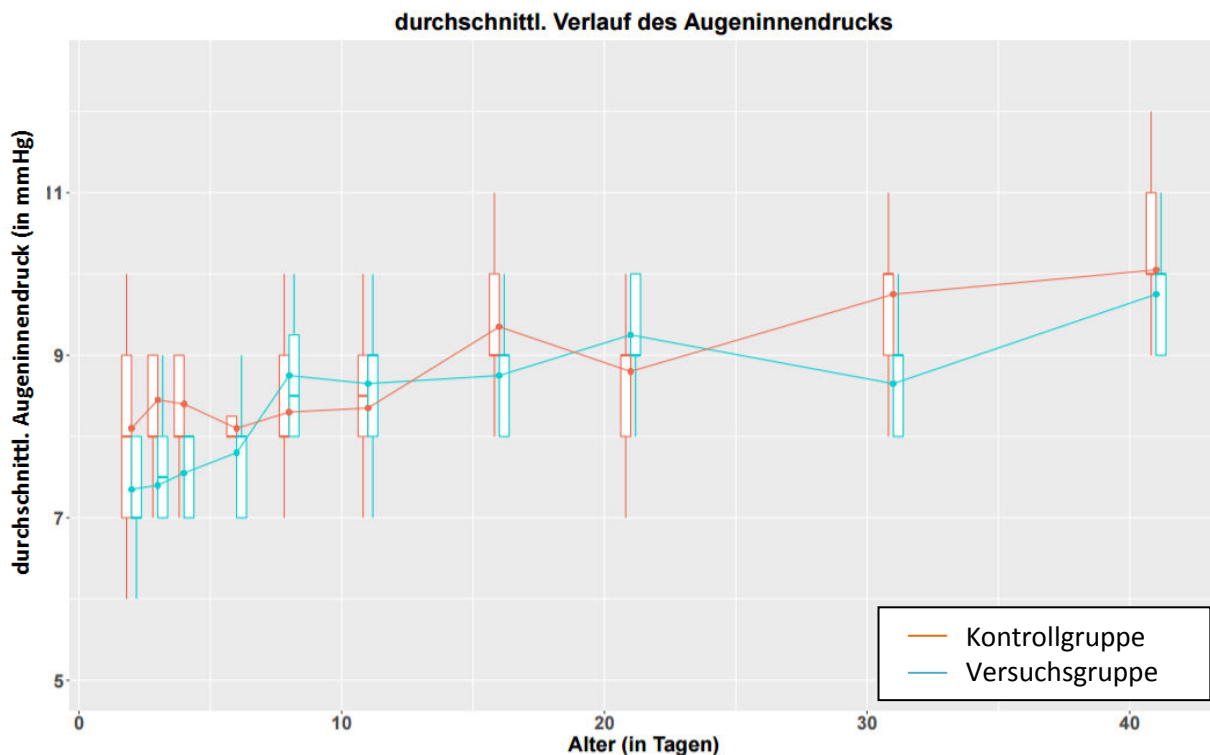


Abbildung 32: Durchschnittlicher Verlauf des Augeninnendrucks

In Abbildung 32 wird der Einfluss des Alters eines Huhns auf den intraokularen Druck deutlich. Sowohl bei den Hühnern der Versuchsgruppe als auch bei den Hühnern der Kontrollgruppe stieg die Höhe des intraokularen Drucks insgesamt an. Im gesamten Versuchsverlauf schwankten die Messwerte der Versuchs- und Kontrollgruppe deutlich und schnitten sich mehrmals. Zu Beginn der Messungen lag der Augeninnendruck der Kontrollgruppe deutlich über dem Augeninnendruck der Versuchsgruppe. Während des Versuchs stieg, fiel und stagnierte der Augeninnendruck sowohl bei der Versuchs- als auch bei der Kontrollgruppe. So kam es zu Überschneidungen der beiden Kurven an Tag sechs, Tag 12, Tag 19 und Tag 24. Am Ende des Versuchs lag der Augeninnendruck der Kontrollgruppe leicht über dem Druck der Versuchsgruppe.

Aufgrund der häufigen Überschneidung fiel die Abweichung beider Kurven nicht sehr deutlich aus. Die Streuung der Messungen hingegen war bei beiden Gruppen des Augeninnendrucks sehr ausgeprägt. Die Abweichung des intraokularen Drucks lag bei ca. 2,0 %.

5 Diskussion

5.1 Dreidimensionale Sonographie in der Ornitho-Ophthalmologie

Die dreidimensionale Sonographie ist ein seit Jahren diagnostisches Hilfsmittel, welches schon vielfach eingesetzt wurde und ein zuverlässiges Ergebnis, sowohl in der Humanmedizin als auch in der Veterinärmedizin, liefert. In der Ornitho-Ophthalmologie wurde zuletzt die dreidimensionale Sonographie zur Erkennung von physiologischen Zuständen und pathologischen Veränderungen eingesetzt (STROBEL, 2010; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013; KÖNIG & LIEBICH, 2014). Pachymetrische Vermessungen der Augenstrukturen beim Vogel erfolgten mittels zweidimensionalen Ultraschalles, welcher eine ebenso gute Auflösung wie der dreidimensionale Ultraschall hat. Jedoch können pathologische Veränderungen wie Umfangsvermehrungen durch die dreidimensionale Sonographie besser evaluiert werden und die dreidimensionale Ultraschalltechnik verkürzt, durch Berechnung der dazugehörigen Ebenen, die Untersuchungszeit deutlich. Durch ein viel höheres Auflösungsvermögen der optischen Kohärenztomographie, löst diese Methode jedoch in puncto Genauigkeit die Sonographie ab, allerdings können hier nicht alle Augenstrukturen in einem Untersuchungsgang beurteilt werden und Untersuchungen des Augenhintergrundes sind nur möglich, wenn keine Trübung der Augeninnenstrukturen vorliegt (HUANG et al., 1998; KORBEL et al., 2012; LI et al., 2012; RAUSCHER et al., 2013; SIGG, 2016).

In die vorliegende Studie sind die Messergebnisse von den Augen von 200 Masthähnchen (100 Tiere aus der Kontrollgruppe und 100 Tiere aus der Versuchsgruppe) eingegangen, welche aus einem konventionellen Masthähnchenbetrieb stammten. Neben einer ausführlichen Allgemeinuntersuchung mit Gewichtserhebung wurde ebenso eine fundierte Examination der Augen mittels Diaskleralkegel, Tonometrie, Fluoreszeinprobe und Ophthalmoskop durchgeführt, gefolgt von einer sonographischen Untersuchung, der eine Untersuchung mittels optischer Kohärenztomographie folgte.

5.2 Das Lichtprogramm

Das in dieser Arbeit eingesetzte zirkadiane Lichtprogramm, mit Absenkung der Lichtintensität von anfangs mindestens 20 auf später fünf lux glich anderen in der Literatur beschriebenen Lichtprogrammen (MANSER, 1996; WEISE, 2008). Allerdings wird in der Literatur nicht beschrieben, in welchem Zeitraum die Lichtintensität herabgesenkt wurde. Das Lichtprogramm orientierte sich aber an Untersuchungen, welche ein altersabhängiges Verhalten von Masthähnchen aufzeigen. So wird von DAVIS et al. (1999) gezeigt, dass Masthähnchen mit zunehmendem Alter dunklere Bereiche den helleren Bereichen vorziehen, um Ruheverhalten durchzuführen. Zudem zeigten die Tiere eine höhere Futteraufnahme, hatten einen niedrigeren Futterverbrauch und es kam zu weniger Verkratzungen der Tiere (HUGHES & DUNCAN, 1972; NEWBERRY et al., 1985; APPLEBY et al., 1992; WEISE, 2008).

5.3 Die Anzahl und Art der Tiere

Die bei dieser Arbeit eingesetzten Tiere waren Masthähnchen der Linie Ross 308. Diese Tiere werden standardmäßig in der konventionellen Masthähnchenhaltung eingesetzt. Bei diesen Hühnern handelt es sich um Tiere aus spezialisierten Hähnchen- beziehungsweise Hennenlinien, welche speziellen Selektionsverfahren unterliegen. So hatten alle untersuchten Tiere zwar eine sehr ähnliche Veranlagung, jedoch können immer genetische Zufallsfaktoren die physiologischen Zustände beeinflussen. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse mit berücksichtigt werden. Um eine statistisch fundierte Aussage treffen zu können, wurde aber vorab des Versuchs durch einen Statistiker die Fallzahl der Tiere auf 100 Hühner pro Gruppe berechnet.

Nicht nur genetische Zufallsfaktoren können die Messergebnisse beeinflussen, auch Umweltfaktoren, wie jahreszeitliche Schwankungen, können einen Einfluss auf die Untersuchungen gehabt haben (SIEGMANN & U, 2011). Da Kontroll- und Versuchsgruppe nicht gleichzeitig, sondern nacheinander untersucht wurden, kann es hier ebenfalls zu verschiedenen Messergebnissen gekommen sein. Um den Faktor jahreszeitliche Schwankungen auszuschließen, sollten in künftigen Versuchen

Kontroll- und Versuchsgruppe gleichzeitig, in identisch gebauten Ställen, gemästet werden.

Als letzter Punkt muss beachtet werden, dass die Untersuchungsergebnisse der hier durchgeführten Versuche, nicht eins zu eins auf andere Rassen oder Linien übertragen werden können. So kommen LAUBER and KINNEAR (1979) bei Versuchen mit unterschiedlichen Rassen in demselben Haltungssystem auf verschiedene, nicht übertragbare Ergebnisse.

5.4 Die ophthalmologische Untersuchung

Wie bereits im Ergebnisteil beschrieben, waren die meisten der untersuchten Masthähnchen frei von Befunden in der ophthalmologischen Untersuchung. Mit zunehmendem Alter konnte jedoch bei einigen Tieren eine Pigmentierung der Netzhaut beobachtet werden. Die Masthähnchen zeigten in der klinischen Untersuchung aber keine Visuseinschränkung und es gab keine Auffälligkeiten im Ultraschall. Es könnte sich hierbei zum einen um eine individuelle, nicht pathologische Variation der Netzhautpigmentierung gehandelt haben. Dieses Vorkommen wird auch in der Literatur beschrieben (HARRISON et al., 1968). Zum anderen könnte es sich aber auch um Veränderungen, einhergehend mit einer Verdünnung der choroidalen und retinalen Strukturen, gehandelt haben, welche bei anderen Studien mit einer Reduzierung der Lichtintensität nachgewiesen werden konnten (JENKINS et al., 1979; BLATCHFORD et al., 2009). Um diese Behauptung zu verifizieren, müssen die konfokalmikroskopischen Ergebnisse einer weiteren Studie abgewartet werden, bei der die hier untersuchten Hühneraugen im Anschluss an die ophthalmologischen Untersuchungen enukleiert und histologisch aufgearbeitet wurden.

5.5 Material und Methodik der 3-D- Sonographie

Das zur vorliegenden Arbeit verwendete Ultraschallgerät Voluson i in Verbindung mit dem verwendeten Ultraschallkopf (Linearsonde) lieferte gute Bilder bei den untersuchten Masthähnchenaugen. Die Bilder der sowohl relativ kleinen Augen der

Eintagsküken als auch die der großen, schlachtreifen Tiere konnten qualitativ überzeugen. Durch die große Auflagefläche der Ultraschallsonde war die genaue Position des Schallkopfes auf dem Auge nicht immer einfach zu bestimmen. Nach einigen wenigen Probeversuchen und der zusätzlichen Orientierung am Bildschirm stellte sich die Linearsonde jedoch nicht mehr als Hindernis dar. Ähnliche Erfahrungen bei der Anwendung einer Linearsonde machen LIEPERT (2013), DOROBK (2013) und STROBEL (2010).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Ankopplung des Schallkopfes an das Auge durch die Kornea-Kontakt-Methode realisiert. Dieses Verfahren wurde schon mehrfach erfolgreich angewendet (GUMPENBERGER & KOLM, 2006; SQUARZONI et al., 2010; STROBEL, 2010; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013). Mittels einer hochauflösenden Linearsonde, in Verbindung mit konventionellen Ultraschallgel, konnten die schallkopfnahen Strukturen auch ohne Vorlaufstrecke, wie sie zum Beispiel GONZALEZ et al. (2001) angewendet hat, in den meisten Fällen gut dargestellt werden. Zu diesem Ergebnis kamen bereits andere Studien in der Ornitho-Ophthalmologie (KORBEL et al., 2009; STROBEL, 2010; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013; KORBEL, 2016). Besonders bei den Küken in den ersten 3 Tagen kam es jedoch vereinzelt zu einem Lidschluss während der Untersuchungszeit, sodass hier die transpalpebrale Methode angewendet werden musste. Dies hatte, wie in anderen Studien beschrieben, eine schlechtere Bildqualität zu Folge (WILLIAMS et al., 1995; BYRNE & GREEN, 2002c; STROBEL, 2010; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013). Vor allem konnte die Hornhaut nicht immer vollständig von den Lidern unterschieden werden.

Die Tiere wurden für den Zeitraum der ophthalmologischen wie auch ultrasonographischen Untersuchung in einen ruhigen und abgedunkelten Raum verbracht. Lediglich zu Beginn der allgemeinen Untersuchung wurde der Raum erhellt, um die visuelle Orientierung der Tiere zu überprüfen. Aufgrund der validen und standardisiert reproduzierbaren Ergebnisse von STROBEL (2010), DOROBK (2013) und LIEPERT (2013) wurden die Tiere in gleicher Weise für die Untersuchung fixiert. Sie wurden in ein Handtuch eingewickelt und zwischen den Beinen des Untersuchers platziert. Diese Fixationsmaßnahme tolerierten die Tiere sehr gut, ihr ruhiges Verhalten ermöglichte so die Aufnahme optimaler und aussagekräftiger Sonographiebilder. Es wurde stets auf das Allgemeinbefinden der Tiere geachtet und

für eine stressarme Umgebung gesorgt. Ähnlich, wie in oben genannten Arbeiten, konnte so auf eine Sedation der Hühner für die Ultraschalluntersuchung verzichtet werden.

Zunächst wurde die sonographische Untersuchung im zweidimensionalen B-Mode gestartet. Während dieser Zeit wurden die Einstellungen des Ultraschallgerätes wie zum Beispiel die Frequenz angepasst, um im Anschluss eine gute dreidimensionale Volumendatei zu erhalten. Der Winkel der Datenakquisition variierte abhängig vom Alter der Masthähnchen zwischen 15 und 25 Grad. Es wurde immer darauf geachtet eine möglichst hohe Qualität einzustellen, jedoch hatte dies eine längere Scanzeit zur Folge, sodass bei Tieren mit sehr viel Eigenbewegungen in seltenen Fällen eine niedrigere Qualität gewählt wurde, was wiederum eine kürzere Aufnahmezeit mit sich brachte. Ähnliche Erfahrung machen DOWNEY et al. (2000). Jedoch kam es bei dieser Variante zu einer geringeren Aufnahme von Einzelschnittebenen, was wiederum bei der Auswertung der Ultraschallbilder eine schlechtere Auflösung mit sich brachte. In den meisten Fällen konnte aber, wie von POULSEN NAUTRUP (1998b) gefordert, ein Kompromiss zwischen der Anzahl der Einzelbilder und der Dauer der Datengewinnung gefunden werden.

Aufgrund der automatischen Kippbewegung des 3-D-Schallkopfes, erfolgte eine koordinierte Schnittfolge mit schneller dreidimensionaler Rekonstruktion. Dieses Verfahren wird auch in der Literatur als vorteilhaft angesehen (SOHN et al., 1988; POULSEN NAUTRUP, 1998a).

In der vorliegenden Arbeit wurde die dreidimensionale Ultraschalldatenakquisition als Methode der Wahl zum Erfassen und Darstellen der einzelnen Ultraschallebenen gewählt. Aufgrund der Vielzahl der möglichen Bearbeitungen im Anschluss an die Untersuchung, konnten alle Schnittebenen beliebig dargestellt werden. Durch die eindeutige Position der Bildpunkte im Koordinatensystem zueinander, waren die anatomischen Verhältnisse am Vogelauge im Ultraschallbild klar zu erkennen und die Orientierung zur Bestimmung der Ansatzpunkte für die Messungen war vereinfacht. Um die entsprechenden einzelnen Ebenen darzustellen und zu konstruieren, wurde der „Schnittebenenmodus“ gewählt. Im Anschluss wurden die Strukturen von Interesse vermessen. Der Vorteil der dreidimensionalen Ultraschalltechnik lag hierbei nicht in der Konstruktion von dreidimensionalen Datensätzen, sondern in der Erstellung der zugehörigen Ebenen im Anschluss an die Untersuchung. Dies

verkürzte die Untersuchungsdauer für die Hühner erheblich. Die positiven Erfahrungen, die in dieser Studie gemacht wurden, decken sich mit anderen Studien über die dreidimensionale Ultraschalltechnik (SOHN, 1994; DOWNEY et al., 1996; CUSUMANO et al., 1998; GRASBON et al., 2001; FINGER, 2002; LIST, 2002; FORTE et al., 2009; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013).

5.6 Die Ultraschalluntersuchung

In der vorliegenden Arbeit konnte eine sehr gute Toleranz der Tiere gegenüber der Untersuchung festgestellt werden. Bei keinem der 200 Tiere musste die Untersuchung aufgrund der vorher im Tierversuchsantrag festgelegten Abbruchkriterien unterbrochen werden. Die Tiere zeigten nach der Untersuchung in ihrer Box ein physiologisches und ungestörtes Verhalten. Zu den Abbruchkriterien gehörten Anzeichen von Stress- und Aufregungszuständen wie Schnabelatmung, Plustern und Kopf ins Gefieder stecken. Eine ähnlich gute Toleranz konnte in vorangegangenen Studien in der zwei- und dreidimensionalen Sonographie am Vogelauge beobachtet werden (STROBEL, 2010; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013). Im Anschluss an die sonographische Untersuchung wurde das für die Untersuchung notwendige Ultraschallgel von den Augen mittels physiologischer Kochsalzlösung weitgehend entfernt. Jedoch blieben einige Reste davon, wie auch schon von STROBEL (2010) beschrieben, im Gefieder der Tiere kleben, welche sie durch ihr Putzverhalten selbst entfernten. Da im Anschluss an die sonographische Untersuchung eine optische Kohärenztomographie stattfand, mussten die Augen im Anschluss zweimal mit der oben beschriebenen Kochsalzlösung ausgespült werden, was die Tiere gut tolerierten. Schäden an den Augen der Tiere aufgrund der dreidimensionalen Ultraschalluntersuchung konnten nicht beobachtet werden, hierzu wäre jedoch sicherheitshalber zusätzlich ein Fluoreszeintest notwendig gewesen, wie auch von STROBEL (2010) und DOROBK (2013) gefordert wird. Jedoch wie eben beschrieben, erfolgte im Anschluss eine Augenuntersuchung mittels OCT, bei der etwaige Veränderungen und Schäden auf der Hornhaut wahrgenommen worden wären. Aus diesem Grund entfiel die nochmalige ophthalmologische Untersuchung inklusive Fluoreszeintest.

Die zwei- und dreidimensionale Darstellung der einzelnen Augenstrukturen deckte sich weitestgehend mit den Angaben in der Literatur bezüglich Vogelaugen (KRAUTWALD-JUNGHANNS & NEUMANN, 1991; LI et al., 1995; REESE, 1999; GUMPENBERGER & KOLM, 2006; HARRIS et al., 2008; KORBEL et al., 2009; LEHMKUHL et al., 2010; SQUARZONI et al., 2010; STROBEL, 2010; LABELLE et al., 2012; DOROBK, 2013; LIEPERT, 2013).

Wie bereits unter Punkt 5.5 beschrieben, war die Hornhaut, vor allem bei sehr jungen Hühnervögeln, nicht immer sicher von den Lidern abzugrenzen. Bei der Auswertung der Messungen der Hornhaut wurde eine massive Ungenauigkeit und Streuung der Werte nachgewiesen, so dass keine aussagekräftigen Ergebnisse zustande kamen. Die Gründe für diesen massiven systematischen Fehler liegen vermutlich in der vorhandenen Schallstrahlgeometrie in diesem Bereich. Linearschallköpfe bieten zwar eine gute schallkopfnähe Auflösung, aufgrund des Nahfelds der Schallkeule kann aber trotzdem eine nicht ausreichende Bildqualität die Folge sein (GLADISCH, 1993; POULSEN NAUTRUP, 1998c). Zudem kann die Reflexbande zwischen Luft und Kornea eine zu starke hyperechogene Strahlung ausgelöst haben, was zu einer Kaschierung der tatsächlichen Dicke der Kornea geführt haben könnte. Eine mögliche Lösung des Problems wäre die Anwendung der hochauflösenden Biomikroskopie gewesen, wie sie in der Humanophthalmologie zum Einsatz kommt (IEZZI et al., 1996; REINSTEIN et al., 2008). Zum anderen hätte die Anwendung einer Vorlaufstrecke, wie sie beim Immersionsverfahren angewendet wird, sicherlich ebenfalls die Auflösung verbessert (GONZALEZ et al., 2001; HARRIS et al., 2008; KORBEL et al., 2009). Zudem lösen andere genauere Verfahren, wie die optische Kohärenztomographie, die Vermessung der kornealen Strukturen ab (SIGG, 2016).

Zwischen Messtag zehn und 15 fiel ein plötzlicher signifikanter Dickenabfall der hinteren Augenwand bei der Vermessung der hinteren Augenstrukturen im Ultraschall auf. Konnten am Messtag zehn mittels sonographischer Untersuchung noch bei allen Tieren der Kontroll- und Versuchsgruppe drei echogen unterscheidbare Schichten, analog zu LIEPERT (2013) und STROBEL (2010), in der hinteren Augenwand erkannt werden, so war dies bei der darauffolgenden Messung an Tag 15 bei keinem der Tiere mehr möglich. An diesem Messtag stellten sich lediglich zwei hyperechogene, von einander abgrenzbare Strukturen in der hinteren Augenwand dar. Bei der Auswertung der Messungen fiel auf, dass es zu einer

Verdünnung der hinteren Augenwand gekommen sein musste. Fraglich ist, ob es sich bei dieser unterschiedlichen sonographischen Darstellung um eine anatomische Veränderung der Augenhüllen in diesem Altersbereich bei Kontroll- und Versuchsgruppe gehandelt hat, oder ob lediglich eine Echogenitätsänderung der hinteren Augenwand vorlag. Um diese Fragestellung vollständig beantworten zu können, müssen die histologischen Ergebnisse einer weiteren Studie abgewartet werden, bei der die hier untersuchten Hühneraugen im Anschluss an die ophthalmologischen Untersuchungen enukleiert und histologisch aufgearbeitet wurden. Da diese Veränderungen bei der Kontroll- und Versuchsgruppe zum gleichen Zeitpunkt (Messtag zehn bis 15) aufgetreten sind und sich die hintere Augenwand exakt gleich im Ultraschall darstellte, ist davon auszugehen, dass das Lichtprogramm keinen Einfluss auf diese Strukturänderung hatte.

5.7 Methodik der Augenvermessung

5.7.1 Zufälliger Fehler der Messmethode

In der vorliegenden Arbeit wurden die Augen klinisch gesunder Masthähnchen untersucht. Beide Augen eines Tieres unterlagen den gleichen Umweltbedingungen und dem gleichen Lichtprogramm. Daher war es unwahrscheinlich anzunehmen, dass sich die Augen unterschiedlich entwickelt haben könnten. Um aber sicher auszuschließen, dass sich linkes und rechtes Auge der einzelnen Masthähnchen nicht doch unterschiedlich entwickelt hatten, wurde der Variationskoeffizient für beide Augen berechnet. Dieser zeigte, dass eventuelle unterschiedliche Messergebnisse zwischen dem linken und rechten Auge auf zufällige Fehler der Messmethode zurückzuführen waren. Somit gab es keinen systematischen Unterschied zwischen den Augen, das heißt die Augen entwickelten sich nicht unterschiedlich. Der systematische Fehler der Messmethode beruhte vermutlich in der individuellen Seitenpräferenz des Untersuchers. So ist bekannt, dass die Sonographie eine höhere Anfälligkeit für Seitenpräferenzfehler zeigt, da der Untersucher immer bei einer Seite einen Vorteil beim Handling hat (Ankopplung, Fixation Vogel, senkrechtes Aufsetzen der Sonde, stets Beginn der Untersuchung mit dem gleichen Auge) (REESE, 2016). Aufgrund der sehr hohen Fallzahl (Anzahl der untersuchten Augen und jeweils dreimalige Messung von drei verschiedenen Ultraschallschnittbildern)

war ein zufälliger Seitenunterschied statistisch gesehen sehr unwahrscheinlich. Um in der späteren Auswertung Streufehler zu reduzieren und signifikante Unterschiede einfacher zu erkennen, wurden daher die Messergebnisse beider Augen gemeinsam betrachtet.

5.7.2 Abhängige und unabhängige Variablen

In die statistische Auswertung wurden verschiedene Variablen mit einbezogen. So gab es abhängige Variablen wie zum Beispiel die Tiefe der vorderen Augenkammer oder den axialen Bulbusdurchmesser. Andere Variablen waren unabhängig, zum Beispiel das Geschlecht, Alter oder das Gewicht der Tiere zum Zeitpunkt der Messung. Es wurde also eine mehrfaktorielle univariate Analyse durchgeführt. Da nach Auswertung der Ergebnisse festgestellt werden konnte, dass das Lichtprogramm keinen Einfluss auf den Augeninnendruck hatte, wurde der IOD als unabhängige Variable aus der Analyse herausgenommen und lediglich als abhängige Variable betrachtet.

Mittels der angewandten statistischen Analyse konnte auch gezeigt werden, dass das Gewicht einen Einfluss auf die Größe der transversal vermessenen Linse, den Glaskörperdurchmesser, den axial vermessenen Bulbus und der Höhe des Augenfächers hatte, allerdings wurde dies in der statistischen Auswertung mit berücksichtigt. Daher lässt sich nicht schlussfolgern, dass die Hühner der Versuchsgruppe an Tag 40 schwerer und größer als die Tiere der Kontrollgruppe waren und nur deshalb einige Augenstrukturen größer waren, wie es bei OLANREWAJU et al. (2012) beschrieben wird. Das Licht hatte trotzdem zum Zeitpunkt der Messung einen nachweisbaren signifikanten Effektauf die Größe dieser Strukturen, unabhängig vom Gewicht der Tiere. Zu dem gleichen Ergebnis kommt auch OSOL et al. (1986).

Das Geschlecht hatte in einigen Fällen einen signifikanten Einfluss auf die Größe der vermessenen Augenstrukturen. So waren beim weiblichen Huhn die Tiefe der vorderen Augenkammer, der Durchmesser der axial vermessenen Linse, die Tiefe des Glaskörpers, der Durchmesser des axial vermessenen Bulbus und die Höhe des Augenfächers kleiner als beim männlichen Tier. Diese Ergebnisse decken sich mit

den Erfahrungen von ZHU et al. (1995). Allerdings konnte diese Arbeitsgruppe, im Gegensatz zur vorliegenden Studie, keinen signifikanten Effekt für das Geschlecht auf die Tiefe der vorderen Augenkammer ausmachen.

5.8 Auswertung der Messergebnisse hinsichtlich lichtbedingter Einflüsse

Nach statistischer Auswertung der 28.800 Messungen auf lichtbedingte Einflüsse, konnten folgende statistisch signifikante Ergebnisse erzielt werden:

Die Tiefe der vorderen Augenkammer war während der Mast bei der Versuchsgruppe größer, als bei der Kontrollgruppe. Allerdings war fast kein Unterschied mehr an Messtag 40 nachweisbar. Der Durchmesser der transversal vermessenen Linse, des axial vermessenen Glaskörpers, des axial ausgemessenen Bulbus und die Höhe des Augenfächers stellten sich in der Versuchsgruppe signifikant größer als in der Kontrollgruppe dar. Bei der Versuchsgruppe war der Durchmesser der axial vermessenen Linse und der hinteren Augenwand signifikant kleiner, als dies bei der Kontrollgruppe der Fall war.

In der Literatur finden sich, außer für die Tiefe der vorderen Augenkammer, ganz ähnliche Ergebnisse, welche unter dem „dim light-induced macrophthalmos“ zusammengefasst werden.

So werden in Studien für Masthähnchenhaltungen unter verminderten Lichtintensitäten ebenso ein größerer Durchmesser des Bulbus und des Glaskörpers nachgewiesen (HARRISON et al., 1968; LAUBER & KINNEAR, 1979; WHITLEY et al., 1985; OSOL et al., 1986; STONE et al., 1995; WEISE, 2008; DEEP et al., 2010; DEEP et al., 2013).

Die Strukturen der hinteren Augenwand verdünnten sich wie oben beschrieben unter der Haltung mit verminderter Lichtintensität. Gleiches finden JENKINS et al. (1979) und HARRISON et al. (1968) in ihren Arbeiten heraus.

Eine Größenzunahme des Augenfächers unter Haltung mit verminderter Lichtintensität ist beim Masthähnchen ebenfalls in der Literatur beschrieben (HARRISON et al., 1968).

STONE et al. (1995) konnte in seinen Studien ebenfalls eine Abnahme des axialen Linsendurchmessers bei verminderter Lichtintensität dokumentieren. Allerdings liegen auch Arbeiten vor, bei denen keine signifikante Änderung des axialen Linsendurchmessers unter verschiedenen verminderten Beleuchtungen nachgewiesen werden konnte (HARRISON et al., 1968).

In der Literatur finden sich bisher keine vergleichenden Messungen zum transversalen Linsendurchmesser unter einer Haltung mit verringerter Lichtintensität. Daher stellt die nachgewiesene signifikante Vergrößerung des transversalen Linsendurchmessers bei der Versuchsgruppe eine Erstbeschreibung dar.

In der vorliegenden Arbeit wurde, anders als in Beschreibungen von WHITLEY et al. (1985), OSOL et al. (1986) und STONE et al. (1995), keine Abflachung der vorderen Augenkammer in der Versuchsgruppe nachgewiesen. Vielmehr war die Tiefe der vorderen Augenkammer signifikant größer als in der Kontrollgruppe bei einer Haltung unter 20 lux. Zum Ende der Mast hatte sich die Tiefe der vorderen Augenkammer jedoch bei beiden Gruppen wieder nahezu angeglichen. Diese lichtbedingten Veränderungen werden aber bei Versuchen beobachtet, bei denen die Lider der Hühner dauerhaft einseitig mittels Nahttechnik verschlossen und damit abgedunkelt werden. In diesen Fällen kommt es ebenfalls zu einer Vergrößerung des gesamten axialen Bulbus, sowie zu einer Zunahme der vorderen Augenkammertiefe (YINON et al., 1982; OSOL et al., 1986). Die Ursachen und Mechanismen für diese unterschiedliche Anpassung des Auges sind bis heute allerdings ungeklärt (NICKLA, 2013).

5.9 Intraokularer Druck

Nach Auswertung der Ergebnisse wurde festgestellt, dass das angewendete Lichtprogramm keinen Einfluss auf den Augeninnendruck hatte.

In anderen Versuchen zum „dim light-induced macrophthalmos“, zum Beispiel von LAUBER and KINNEAR (1979) und WHITLEY et al. (1985) werden die gleichen Ergebnisse bei einer Haltung der Tiere unter verminderter Lichtintensität erzielt. Lediglich die Arbeitsgruppe um JENKINS et al. (1979) konnte in ihrem Versuch einen anfänglichen Anstieg des intraokularen Druckes im Vergleich zur Kontrollgruppe

nachweisen. Dieser verringerte sich aber ab der sechsten Woche wieder und sank dann sogar unter den intraokularen Druck der Hühner der Kontrollgruppe.

Das Alter hatte in diesem Versuch sowohl beim männlichen, als auch beim weiblichen Huhn einen signifikanten Effekt auf die Höhe des Augeninnendrucks und stieg während der Mast an. Zu Beginn des Versuchs lag der intraokulare Druck bei Kontroll- und Versuchsgruppe ungefähr bei 8 mm Hg, zum Zeitpunkt der Schlachtung lag er dann bei beiden Gruppen bei ungefähr 10 mm Hg. Damit befand sich der Augeninnendruck auch zum Ende der Studie noch im Bereich der Werte, welche in der Literatur für Hühneraugen genannt werden (LAUBER et al., 1972; NICKLA et al., 1998; TANDLER, 2013).

In der Literatur kann in Studien für den Menschen kein Einfluss des Alters auf den intraokularen Druck nachgewiesen werden (MCCAGHREY & MCCAGHREY, 1991). In der Veterinärmedizin liegen unterschiedliche Daten zum Einfluss des Alters auf den Augeninnendruck vor. So zeigen Studien beim Pferd, dass der intraokulare Druck im Alter sinkt (STEIFF, 1996), beim Hund jedoch ansteigt (GELATT & MACKAY, 1998). In Studien mit Masthähnchen kann ebenfalls gezeigt werden, dass der intraokulare Druck mit dem Alter ansteigt (LAUBER & KINNEAR, 1979).

In der vorliegenden Arbeit wurde der Augeninnendruck zu Beginn der klinischen und ophthalmologischen Untersuchung gemessen. Die Messung des intraokularen Druckes erfolgte stets zur gleichen Tageszeit, nämlich am Vormittag. Dies ist wichtig für die Auswertung der Messergebnisse, da verschiedene Studien nachweisen, dass der Augeninnendruck einem zirkadianen Rhythmus unterliegt und er beim Huhn nachts niedriger ist (HARRISON et al., 1968; NICKLA et al., 1998; NICKLA, 2013). Hätten die Messungen zu unterschiedlichen Tageszeiten stattgefunden, so hätte sich die Variabilität der Messungen erhöht und eventuelle Unterschiede wären nicht deutlich hervorgetreten. Die Gründe der tageszeitlichen Schwankungen des intraokularen Druckes sind jedoch unbekannt. Es wird aber eine hormonelle, metabolische und nervale Komponente diskutiert (MILLER, 2008).

5.10 Aspekte der Tierschutzrelevanz

Die Messergebnisse und Auswertungen des Versuches sollen in diesem Abschnitt vor dem Hintergrund der Kunstlichtbeleuchtung und hinsichtlich der Fragestellung nach tierschutzrelevanten Parametern beurteilt werden. Herauszufinden gilt es, welche morphologischen Veränderungen der Augenstrukturen einen Einfluss auf das Wohlbefinden der Masthähnchen haben könnten und welche Veränderungen eine Einschränkung hinsichtlich des Tierschutzgesetzes darstellen.

Bei den Tieren der Versuchsgruppe, welche unter verminderter Lichtintensität gemästet wurden, vergrößerte sich die Tiefe der vorderen Augenkammer. Der Durchmesser der transversal vermessenen Linse, des axial vermessenen Glaskörpers, des axial ausgemessenen Bulbus und die Höhe des Augenfächers waren in der Versuchsgruppe signifikant größer als in der Kontrollgruppe. Der Durchmesser der axial vermessenen Linse sowie der Durchmesser hinteren Augenwand waren signifikant kleiner als dies bei der Kontrollgruppe der Fall war. Der intraokulare Druck stellte sich in beiden Gruppen jedoch gleich dar.

Die Befunde der Versuchsgruppe weisen somit auf Veränderungen hin, welche sich in der Literatur unter dem Komplex des „dim light-induced macrophthalmos“ zusammen fassen lassen (HARRISON et al., 1968; LAUBER & KINNEAR, 1979; WHITLEY et al., 1985; OSOL et al., 1986; STONE et al., 1995; DEEP et al., 2010; DEEP et al., 2013). Durch die Vergrößerung des Augendurchmessers und der Augenstrukturen kommt es zu einer Veränderung im dioptrischen Apparat und nachweislich zu einer Kurzsichtigkeit der Tiere (Myopie) (HARRISON et al., 1968; JENKINS et al., 1979; LAUBER & OISHI, 1987; BLATCHFORD et al., 2009; DEEP et al., 2010; OLANREWAJU et al., 2016; RAULT et al., 2016).

Hinsichtlich der Überprüfung des Lichtprogrammes bezüglich Schmerzen, Leiden und Schäden, lässt sich also schlussfolgern, dass es zu geringfügigen morphologischen Veränderungen der Augenstrukturen gekommen ist. Schmerzhaft Zustände am Auge konnten in der klinischen und ophthalmologischen Untersuchung der Masthähnchen nicht festgestellt werden. Da es zu keiner Druckerhöhung im Auge kam und dies auch nicht für den Komplex des „dim light-induced macrophthalmos“ in der Literatur beschrieben ist, kann davon ausgegangen werden, dass schmerzhaft Zustände, wie sie beim Glaukom vorkommen, nicht vorgelegen

haben. Eine Kurzsichtigkeit (Myopie) ist als nicht schmerzhafter Prozess einzustufen. Jedoch könnte sich eine Visuseinschränkung auf das Verhalten und Wohlbefinden der Tiere auswirken. Die Orientierung der Masthähnchen im Stall könnte negativ beeinflusst sein, was die Interaktion mit Artgenossen oder das Auffinden von Futter und Wasser erschweren könnte. Allerdings wurde in dieser Studie nicht die genaue Brechkraft des dioptrischen Apparates untersucht, wie es in anderen Studien der Fall war (HARRISON et al., 1968). Somit kann nicht beurteilt werden, wie stark die Kurzsichtigkeit bei den Versuchstieren ausgeprägt war. Entsprechende weiterführende Untersuchungen sind hier angezeigt.

Um beurteilen zu können ob der Umfang der Augenveränderungen sich auf das Wohlbefinden der Masthähnchen auswirkt und damit die Veränderungen tierschutzrechtlich relevant sind, müssen weitere Daten, wie die Schlachtkörperqualität (Verkratzungen, Kannibalismus, Brustblasen, Pododermatitis) dieser Studie ausgewertet werden. Zusätzlich sollten weitere Durchgänge unter demselben Lichtprogramm durchgeführt werden und hinsichtlich des Verhaltens der Tiere im Stall ausgewertet werden, sowie die Dioptrien der Augen vermessen werden. Da unterschiedliche Hühnerrassen anders auf das gleiche Lichtprogramm reagieren (LAUBER & KINNEAR, 1979), können die Ergebnisse aber prinzipiell nicht auf andere Rassen übertragen werden. Daher sollten weitere Versuche auch mit unterschiedlichen Hühnerrassen durchgeführt werden um eine allgemeingültige Aussage bezüglich der Augenveränderungen unter verminderter Lichtintensität treffen zu können.

In der Literatur liegen einige Studien über die Beurteilung der Tierschutzrelevanz bei Haltung von Masthähnchen unter verschiedenen Lichtbedingungen vor. So finden verschiedene Arbeitsgruppen zwar heraus, dass sich die Augenstrukturen der Tiere vergrößern, jedoch wird bei einer Mast der Hühner ab einer Lichtintensität von 5 lux kein Unterschied im Wohlbefinden der Tiere im Vergleich zu einer Haltung bei 20 lux oder mehr festgestellt. Festgemacht wird diese Behauptung durch Beurteilung der Tiergesundheit, wozu eine verbesserte Skelett- und Sohlenballengesundheit gehört. Zudem werden keine Unterschiede in der Mortalität und der Futteraufnahme nachgewiesen. Die Hühner zeigen unter einer Haltung von 5 lux zwar ein vermindertes globales Explorationsverhalten, es fallen aber weniger Unterhautverkratzungen und ein höheres Schlachtgewicht auf (KRISTENSEN et al.,

2006; WEISE, 2008; BLATCHFORD et al., 2009; DEEP et al., 2010; OLANREWAJU et al., 2015; RAULT et al., 2016). Von den Autoren dieser Studien wird eine Haltung von Masthähnchen unter Lichtbedingungen von mindestens 5 lux gefordert, da niedrigere Lichtintensitäten einen negativen Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere haben (DEEP et al., 2010; DEEP et al., 2013).

Bei der zukünftigen Betrachtung der Tierschutzrelevanz sollte möglicherweise auch ein Zusammenhang zwischen Vergrößerung der Augenstrukturen und einem daraus resultierenden Druck auf den Nervus opticus hergestellt werden (DEEP et al., 2010). Dieser Druck kann zum einen zu Nervenschädigungen und damit zum Visusverlust führen (MORRISON et al., 2005), zum anderen aber auch zu einer Freisetzung von Entzündungsmediatoren beitragen, welche einen dauerhaften Schmerzzustand der Tiere verursachen können (TRACEY & WALKER, 1995).

Zum jetzigen Stand der Untersuchung liegen nur morphologische Ergebnisse vor, welche die Beantwortung der Frage nach der Tierschutzrelevanz nur bedingt beantworten können. Daher ist auch keine Aussage darüber zu treffen, ob die rechtlichen Vorgaben geändert werden müssen.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu überprüfen, ob sich eine langsame Absenkung der Lichtintensität im Stall auf weniger als 20 lux auf die Entwicklung der Augenstrukturen von Masthähnchen auswirken kann und ob diese Veränderungen mittels Ultraschall nachweisbar sind. Zudem sollte die Einsatzfähigkeit der zwei- und dreidimensionalen Sonographie am Masthähnchenaugen hinsichtlich lichtbedingter ophthalmologischer Erkrankungen untersucht werden. Hierzu gehörte ebenfalls die Evaluation der Darstellbarkeit morphologischer okularer Strukturen mittels Ultraschall. Aus diesem Grund wurden im Zeitraum von Juni bis September 2016 insgesamt 200 Masthähnchen der Linie Ross 308 aus zwei Mastdurchgängen mit insgesamt 34.700 Tieren (Kontroll- und Versuchsgruppe) mit unterschiedlichen Beleuchtungsprogrammen zu verschiedenen Zeitpunkten aus dem Stall entnommen und deren Augen ophthalmologisch, sonographisch und für eine andere Studie mittels optischer Kohärenztomographie untersucht. Die Licht- und Dunkeldauer der Kontroll- und Versuchsgruppe war während der Mast identisch. Die Lichtintensität der Kontrollgruppe lag bei den gesetzlich vorgeschriebenen 20 lux. Bei der Versuchsgruppe kam ein diskontinuierliches Lichtprogramm zum Einsatz. Bis zum 10. Lebenstag wurde der Stall der Versuchstiere mit einer Lichtintensität von 20 lux beleuchtet, dann wurde sie schrittweise bis auf ein Minimum von 5 lux reduziert, welche am 12. - 18. Masttag erreicht wurden. Diese 5 lux wurden bis zum Mastende an Tag 42 beibehalten. An Tag 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 und 40 wurden jeweils zehn Tiere, sowohl aus der Kontroll- als auch der Versuchsgruppe randomisiert vom Stallpersonal entnommen und an der Klinik für Vögel untersucht.

Bei diesen Masthähnchen erfolgte eine klinische und ophthalmologische Untersuchung inklusive Messung des Augeninnendruckes. Anschließend wurde die sonographische Untersuchung im B-Mode mittels zwei- und dreidimensionaler Ultraschalltechnik und direktem Kornea-Kontakt-Verfahren durchgeführt. Bei dem hierbei verwendeten Gerät handelte es sich um das portable Ultraschallgerät Voluson i der Firma GE Healthcare mit einem zugehörigen 18 MHz Linearschallkopf.

Im Anschluss erfolgte die Vermessung der Augenstrukturen mit Hilfe der Ultraschallsoftware 4D-View. Dabei wurden die Durchmesser der Kornea, der vorderen Augenkammer, der axialen und transversalen Linse, des axialen

Glaskörpers und der hinteren Augenwand, sowie der Gesamtdurchmesser des axialen Bulbus und die Höhe des Augenfächers jeweils drei Mal an drei unterschiedlichen Ultraschallbildern vermessen. Anschließend wurden die 28.800 Messergebnisse statistisch ausgewertet.

Die zwei- und dreidimensionale Darstellung der einzelnen Augenstrukturen deckte sich weitestgehend mit den Angaben in der Literatur bezüglich der sonographischen Darstellbarkeit von Vogelaugen. Die dreidimensionale Technik lieferte in den meisten Fällen zuverlässige und aussagekräftige Ultraschalldatensätze und erleichterte die Messungen durch einfache Wahl des Bildausschnittes im „Schnittebenenmodus“. Zudem verkürzte sich die Untersuchungszeit für die Masthähnchen durch Berechnung der zugehörigen Schallebenen.

Nach Auswertung der Messergebnisse wurde für die Hornhaut eine massive Ungenauigkeit und Streuung der Messwerte nachgewiesen, so dass die sonographische Untersuchung hierbei keinen Vorteil darstellte. Die Ursachen hierfür liegen vermutlich in der Auflösung der Ultraschallsonde und der vorhandenen Schallstrahlgeometrie in diesem Bereich. Alle anderen Messungen lieferten jedoch aussagekräftige Ergebnisse. In der Versuchsgruppe stellten sich die Tiefe der vorderen Augenkammer, der Durchmesser der transversal vermessenen Linse, des axial vermessenen Glaskörpers, des axial ausgemessenen Bulbus und die Höhe des Augenfächers signifikant größer als in der Kontrollgruppe dar. Außerdem war der Durchmesser der axial vermessenen Linse und der hinteren Augenwand signifikant kleiner. Der intraokulare Druck veränderte sich nicht.

Die Veränderungen der okularen Strukturen zeigen statistisch signifikante Veränderungen zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe. Diese Veränderungen weisen Parallelen zum „dim light-induced macrophthalmos“ auf. Hierbei kann es zu einer Kurzsichtigkeit (Myopie) der Tiere kommen. Inwieweit sich diese okularen Veränderungen auf das Wohlbefinden und die Orientierung der Masthähnchen im Stall auswirken, muss in weiteren Studien geklärt werden, in denen neben der Augengesundheit auch das Verhalten und die Schlachtkörperqualität der Tiere beurteilt werden sollte.

Zum jetzigen Stand der Untersuchung liegen nur morphologische Ergebnisse vor, welche die Beantwortung der Frage nach der Tierschutzrelevanz bei einer Haltung unter Kunstlichtbedingungen von 5 lux nur bedingt beantworten können.

7 Summary

The aim of the present study was to assess whether gradual lowering of light intensity to below 20 lux can affect eye structures and whether these changes could be detected using ultrasound. Additionally, the applicability of two- and three-dimensional sonography of broiler chicken eyes for the assessment of light-associated ophthalmologic disorders was evaluated. Equally, the imaging of morphological ocular structures using two- and three-dimensional ultrasound was to be evaluated. Thus, a total of 200 broiler chicken from the line Ross 308 from two fattening runs with a total of 34,700 animals (control and test group) with different light programmes were removed from the shed at different times between June and September 2016 and their eyes were examined ophthalmologically, sonographically and, for a different study, using optical coherence tomography. The duration of light and dark periods for the control and test groups was identical during fattening. The light intensity for the control group was set at 20 lux as required by law. For the test group, a discontinuous light programme was applied. Up to Day 10, the shed of the test animals was illuminated with a light intensity of 20 lux which was then gradually reduced to a minimum of 5 lux which was reached on Day 12 to 18 of fattening. The light intensity of 5 lux was then maintained until the end of the fattening period on Day 42. On Day 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 and 40, 10 animals each from the control and test groups were removed from the shed by the staff at random and were examined at the Clinic for Birds.

All examined broiler chicken were subjected to a clinical and ophthalmological examination including measurement of intraocular pressure. Subsequently, ultrasonographical examination was carried out in B-mode using two- and three-dimensional ultrasound and direct cornea contact technique. Equipment used was the portable ultrasound Voluson i by GE Healthcare with a corresponding 18 MHz linear transducer.

Following this, ocular structures were measured using the ultrasound software 4D-View. Thereby, the diameters of the cornea, the anterior chamber, the axial and transversal lens, the axial vitreous humour and the posterior ocular wall as well as

the total diameter of the axial bulb and the height of the pecten oculi were measured three times each in three different ultrasound images. Subsequently, the 28,800 measurements were statistically evaluated.

The two- and three-dimensional imaging of the separate ocular structures was mainly consistent with the descriptions in the literature regarding ultrasonographic imaging of avian eyes. In most cases, the three-dimensional technique produced reliable and highly diagnostic ultrasound data and facilitated measurements through a simple choice of field of view in the „sectional plane mode“. In addition, examination time for the broiler chicken was shortened by calculation of the corresponding sound planes.

Evaluation of measurement data revealed a severe inaccuracy and variation of measurement values for the cornea. Thus, ultrasonographic examination did not pose an advantage here. This is probably due to the resolution of the ultrasound transducer and the sound beam geometry in this area.

However, all other measurements produced highly diagnostic results. In the test group, depth of the anterior chamber, the transversal diameter of the lens, the axial diameter of the vitreous humour, the axial diameter of the bulb and the height of the pecten oculi were significantly greater than in the control group. Additionally, the axial diameter of the lens and the posterior eye wall were significantly smaller. Intraocular pressure remained unchanged.

The statistically significant changes in the ocular structures showed similarities to „dim light-induced macrophthalmos“. This can lead to myopia. Further research is needed to assess to what extent these ocular changes affect the welfare and orientation of the broiler chicken in the shed. Next to ocular health, behaviour and carcass quality should then also be assessed.

At this point of the examination, there are only morphological results which allow only limited conclusions regarding the relevance for animal welfare of keeping chicken under artificial light conditions of 5 lux.

8 Literatur

- Appleby MC, Hughes BO, Elson HA (1992) Poultry production systems. Behaviour, management and welfare. CAB international. 256 pp
- Barr F (1992) Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze. Fischer Verlag, Stuttgart
- Bennett A, Cuthill I, Norris K. Sexual selection and the mismeasure of color. *The American Naturalist* 1994;144: 848-60.
- Bezzel E. Sinnesorgane. Auge. In: Ornithologie, 2., völlig Neubearb. und erw. Aufl. edn. Bezzel E, Prinzinger R, eds. Stuttgart: Ulmer 1990: 148-55.
- Blatchford R, Klasing K, Shivaprasad H, Wakenell P, Archer G, Mench J. The effect of light intensity on the behavior, eye and leg health, and immune function of broiler chickens. *Poultry science* 2009;88: 20-8.
- Blatchford R, Archer G, Mench J. Contrast in light intensity, rather than day length, influences the behavior and health of broiler chickens. *Poultry science* 2012;91: 1768-74.
- Bowmaker J, Knowles A. The visual pigments and oil droplets of the chicken retina. *Vision Res* 1977;17: 755-64.
- Braun J (1995) Weiterführende Untersuchungen zur Bestimmung des Intraokulardrucks bei Vögeln mit einem Elektronischen Tonometer Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Byrne SF, Green RL. Physics and Instrumentation. In: *Ultrasound of the Eye and Orbit*, 2 edn. Byrne SF, Green RL, eds. St. Louis: Mosby 2002a: 1-12.
- Byrne SF, Green RL. Trauma and Postsurgical Findings. In: *Ultrasound of the Eye and Orbit*, 2 edn. Byrne SF, Green RL, eds. St. Louis: Mosby 2002b:
- Byrne SF, Green RL. Examination Techniques for the Globe. In: *Ultrasound of the Eye and Orbit*, 2 edn. Byrne SF, Green RL, eds. St. Louis: Mosby 2002c:
- Byrne SF, Green RL. The globe. In: *Ultrasound of the Eye and Orbit*, 2 edn. Byrne SF, Green RL, eds. St. Louis: Mosby 2002d: 13-4.
- Canton C (2010) Domestic chickens (*Gallus gallus domesticus*) classify spectral colors into four categories: UV, blue, green and red. In: Biology Education Centre and Department of Animal Ecology. Uppsala University, Uppsala

- Chen D-A, Collins JS, Goldsmith TH. The ultraviolet receptor of bird retinas. *Science* 1984;225: 337-41.
- Chiu PS, Lauber JK, Kinnear A. Dimensional and physiological lesions in the chick eye as influenced by the light environment. *Proc Soc Exp Biol Med* 1975a;148: 1223-8.
- Chiu PS, Lauber JK, Kinnear A. Dimensional and physiological lesions in the chick eye as influenced by the light environment. *Experimental Biology and Medicine* 1975b;148: 1223-8.
- Classen H, Annett C, Schwean-Lardner K, Gonda R, Derow D. The effects of lighting programmes with twelve hours of darkness per day provided in one, six or twelve hour intervals on the productivity and health of broiler chickens. *British poultry science* 2004;45: 31-2.
- Coulombre AJ, Coulombre JL, Mehta H. The skeleton of the eye. *Developmental Biology* 1962;5: 382-401.
- Cusumano A, Coleman DJ, Silverman RH, Reinstein DZ, Rondeau MJ, Ursea R, Daly SM, Lloyd HO. Three-dimensional ultrasound imaging. *Clinical applications. Ophthalmology* 1998;105: 300-6.
- Davis N, Prescott N, Savory C, Wathes C. Preferences of growing fowls for different light intensities in relation to age, strain and behaviour. *Animal welfare* 1999;8: 193-203.
- Deep A, Schwean-Lardner K, Crowe T, Fancher B, Classen H. Effect of light intensity on broiler production, processing characteristics, and welfare. *Poultry science* 2010;89: 2326-33.
- Deep A, Raginski C, Schwean-Lardner K, Fancher B, Classen H. Minimum light intensity threshold to prevent negative effects on broiler production and welfare. *British poultry science* 2013;54: 686-94.
- Delcker A, Martin T, Tegeler C. Magnetic sensor data acquisition for three-dimensional ultrasound of the orbit. *Eye (Lond)* 1998;12 (Pt 4): 725-8.
- Dieterich CE, Dieterich H, Spycher M, Pfautsch M. Fine structural observations of the pecten oculi capillaries of the chicken. *Cell and Tissue Research* 1973;146: 473-89.
- Dorobek K (2013) Dreidimensionale Sonographie am Vogelauge - das vordere Augensegment. Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Downey DB, Nicolle DA, Levin MF, Fenster A. Three-dimensional ultrasound imaging of the eye. *Eye (Lond)* 1996;10 (Pt 1): 75-81.

- Downey DB, Fenster A, Williams JC. Clinical utility of three-dimensional US. *Radiographics* 2000;20: 559-71.
- Elder D. *System of ophthalmology*. Henry Kimpton, London 1970;4: 721.
- Endo K, Kato S, Fukushima H, Inoue K, Numaga J, Kawashima H. Usefulness of three dimensional ultrasonography for invisible fundus. *Br J Ophthalmol* 2000;84: 1080-1.
- Engelmann C. Sinnesorgane. In: *Handbuch der Geflügelphysiologie - Teil 1*. Mehner A, Hartfield, W., ed. München, Paris, London, New York, Tokyo, Sydney: Karger 1983: 353 - 79.
- Farrow CS. How ultrasound works. In: *Small animal ultrasound*. Green RW, ed. Philadelphia: Lippencott-Raven 1996: 7-27.
- Feibel RM. *Diagnostic Ultrasonography*. International Ophthalmology Clinics Spring 1978;18: 167-78.
- Fenster A, Downey DB. Three-dimensional ultrasound imaging. *Annu Rev Biomed Eng* 2000;2: 457-75.
- Finger PT. Three-Dimensional Ultrasound of the Eye. In: *Ultrasound of the Eye and Orbit*. Byrne SF, Green RL, eds. St. Louis: Mosby 2002: 236-43.
- Flückiger M. *Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*. 1. Funktionsweise, Geräte, Biologische Wirkung. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 1990;132: 275-82.
- Forte R, Cennamo G, Breve MA. Three-Dimensional Ultrasound of Ophthalmic Pathologies. *Ophthalmologica* 2009;223: 183-7.
- Frankelson E, Lauber J, Boyd T. The role of angle closure in light-induced avian glaucoma. *Can J Ophthalmol* 1969;4: 59-63.
- Franz-Odendaal TA, Vickaryous MK. Skeletal elements in the vertebrate eye and adnexa: morphological and developmental perspectives. *Developmental Dynamics* 2006;235: 1244-55.
- Franz-Odendaal TA. Toward understanding the development of scleral ossicles in the chicken, *Gallus gallus*. *Developmental Dynamics* 2008;237: 3240-51.
- Franz V. Höhere Sinnesorgane. In: *Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere Band 2*. Bolk L, Göppert E, Kallius E, eds. Berlin, Wien: Urban und Schwarzenberg 1934: 989-1292.
- Freudig D. *Lexikon der Wissenschaft*. In: *Lexikon der Biologie Heidelberg*: Spektrum Akademischer Verlag 2006:

- Frewein J, Sinowatz F. Sinnesorgane. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 5. Nickel R, Schummer A, Seiferle E, eds. Berlin, Hamburg: Parey 2004:
- Garamszegi LZ, Møller AP, Erritzøe J. Coevolving avian eye size and brain size in relation to prey capture and nocturnality. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 2002;269: 961-7.
- Gelatt K, MacKay E. Distribution of intraocular pressure in dogs. *Vet Ophthalmol* 1998;1: 109-14.
- Gelatt KN, Gilger BC, Kern TJ (2012) *Veterinary ophthalmology*. John Wiley & Sons
- Gladisch R. Einführung in die sonographische Diagnostik. *Tierärztliche Praxis* 1993;Sonderheft: 3-19.
- Glasser A, Troilo D, Howland HC. The mechanism of corneal accommodation in chicks. *Vision Res* 1994;34: 1549-66.
- Glasser A, Murphy CJ, Troilo D, Howland HC. The mechanism of lenticular accommodation in chicks. *Vision Res* 1995;35: 1525-40.
- Gonzalez EM, Rodriguez A, Garcia I. Review of ocular ultrasonography. *Vet Radiol Ultrasound* 2001;42: 485-95.
- Götz A-J. Physikalische Grundlagen. In: *Kompodium der medizinisch-diagnostischen Utrasonographie* Stuttgart: Enke 1983: 7-25.
- Grasbon T, Schriever S, Hoops JP, Mueller AJ. 3D-Ultraschall - Erste Erfahrungen bei verschiedenen Augenerkrankungen. *Ophthalmologe* 2001;98: 88-93.
- Gumpenberger M, Kolm G. Ultrasonographic and computed tomographic examinations of the avian eye: physiologic appearance, pathologic findings, and comparative biometric measurement. *Vet Radiol Ultrasound* 2006;47: 492-502.
- Guthoff R, Guthoff K. Ultraschalldiagnostik in der Augenheilkunde. Teil 1: Methodik, Trübungen der brechenden Medien. *Zeitschr prakt Augenheilk* 1987;8: 311-6.
- Harris MC, Schorling JJ, Herring IP, Elvinger F, Bright PR, Pickett JP. Ophthalmic examination findings in a colony of Screech owls (*Megascops asio*). *Vet Ophthalmol* 2008;11: 186-92.
- Harrison P, Bercovitz A, Leary G. Development of eye enlargement of domestic fowl subjected to low intensity light. *International journal of biometeorology* 1968;12: 351-8.

- Horst Cv (2002) Anatomische Untersuchungen zur Vaskularisation des aviären Bulbus oculi. Ludwig-Maximilians-Universität München, München
- Huang Y, Cideciyan AV, Papastergiou GI, Banin E, Semple-Rowland SL, Milam AH, Jacobson SG. Relation of optical coherence tomography to microanatomy in normal and rd chickens. Invest Ophthalmol Vis Sci 1998;39: 2405-16.
- Hughes B, Duncan I. The influence of strain and environmental factors upon feather pecking and cannibalism in fowls. British poultry science 1972;13: 525-47.
- Iezzi R, Rosen RB, Tello C, Liebmann J, Walsh JB, Ritch R. Personal computer-based 3-dimensional ultrasound biomicroscopy of the anterior segment. Arch Ophthalmol 1996;114: 520-4.
- Jenkins RL, Ivey W, McDaniel G, Albert R. A darkness induced eye abnormality in the domestic chicken. Poultry science 1979;58: 55-9.
- Jensen LS, Matson WE. Enlargement of avian eye by subjecting chicks to continuous incandescent illumination. Science (New York, NY) 1957;125: 741-.
- Jensen PK, Hansen MK. Ultrasonographic, three-dimensional scanning for determination of intraocular tumor volume. Acta Ophthalmol (Copenh) 1991;69: 178-86.
- Jones E, Prescott N, Wathes C, Cook P. Social signalling in the domestic fowl: Role of UV A light in mating and mate choice. British poultry science 1999;40: 12-4.
- Jones MP, Pierce KE, Ward D. Avian vision: a review of form and function with special consideration to birds of prey. Journal of Exotic Pet Medicine 2007;16: 69-87.
- Kaiser GW. The inner bird: anatomy and evolution Vancouver: UBC Press 2007: 20 - 4.
- Kiltie R. Scaling of visual acuity with body size in mammals and birds. Functional Ecology 2000;14: 226-34.
- König H, Liebich H. Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and colour atlas. Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and colour atlas. 2014;
- Korbel R. Zwangsmaßnahmen beim Vogelpatienten - Theoretische Grundlagen und praktische Durchführung. Teil 1. Tierärztl. Prax. 1992;20: 59-64.
- Korbel R (1994) Augenheilkunde bei Vögeln: Ätiologie und Klinik von Augenkrankheiten, Luftsack-Perfusionsanästhesie, ophthalmologische

- Photographie und Bildatlas der Augenerkrankungen bei Vögeln. In: Vet. Habil., München
- Korbel R, Wiesner H, Hector J. Ophthalmoskopie bei Zoo- und Wildvögeln - Untersuchungstechniken und Befunde. *Verh.ber.Erkr. Zootiere* 1997;38: 103-10.
- Korbel R. Erkrankungen des Augenhintergrundes beim Vogel - Untersuchungstechniken und Befunde. *Tierärztl Mschr* 1999;86: 395-410.
- Korbel R. Das ophthalmologische Quiz - Linsenluxationen bei Eulen. *Tierärztl Prax* 2001;29: 264-9.
- Korbel R, Sturm K (2005) Review on lightsources under artificial light circumstances. *Proceedings 6th Scientific ECAMS Meeting*. 7-8
- Korbel R, Hufen H, Schweikl M, Strobel BK (2009) Ocular Ultrasonography in Birds. 30th Annual Association of Avian Veterinarians Conference & Expo. Milwaukee, Wisconsin
- Korbel R, Barwig S, Rinder M. Vergleichende Untersuchungen zur Ophthalmoskopie, digitalen Scanning Ophthalmoskopie (SDO) und optischen Kohärenztomographie (OCT) unter besonderer Berücksichtigung Bornavirus-assoziiierter ophthalmologischer Befunde am Vogelauge. *Tagungsber* 2012;17: 43-6.
- Korbel R (2012) Avian Ophthalmology - Principles and Application. In: Australasian Committee Association of Avian Veterinarians & Unusual and Exotic Pet Veterinarians. AAVAC/UEPC, Melbourne, Australia
- Korbel R. Clinical Examination. In: *Avian Anatomy: Textbook and Colour Atlas (Englisch)* Gebundene Ausgabe. König H, Korbel R, Liebich H, eds. London: 5m Publishing 2016:
- Krautwald-Junghanns ME, Neumann W (1991) Diagnostic use of ultrasonography in birds. *Proceedings of the 1991 Annual Conference of the Association of Avian Veterinarians*. Chicago, Illinois
- Kristensen HH (2004) The behaviour and welfare of broiler chickens in different light environments. Division of Ethology, Royal Veterinary and Agricultural University
- Kristensen HH, Perry G, Prescott N, Ladewig J, Ersbøll AK, Wathes C. Leg health and performance of broiler chickens reared in different light environments. *British poultry science* 2006;47: 257-63.

- Labelle AL, Whittington JK, Breau CB, Labelle P, Mitchell MA, Zarfoss MK, Schmidt SA, Hamor RE. Clinical utility of a complete diagnostic protocol for the ocular evaluation of free-living raptors. *Vet Ophthalmol* 2012;15: 5-17.
- Lauber J, Kinnear A. Eye enlargement in birds induced by dim light. *Can J Ophthalmol* 1979;14: 265-9.
- Lauber J, Oishi T. Lid suture myopia in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1987;28: 1851-8.
- Lauber JK, Shutze JV, McGinnis J. Effects of exposure to continuous light on the eye of the growing chick. *Experimental Biology and Medicine* 1961;106: 871-2.
- Lauber JK, McGinnis J, Boyd J. Influence of miotics, Diamox and vision occluders on light-induced buphthalmos in domestic fowl. *Experimental Biology and Medicine* 1965;120: 572-5.
- Lauber JK, McGinnis J. Eye lesions in domestic fowl reared under continuous light. *Vision Res* 1966;6: 619-26.
- Lauber JK, Boyd JE, Boyd T. Aqueous humor inflow in normal and glaucomatous avian eyes. *Exp Eye Res* 1972;13: 77-82.
- Lauber JK. Diurnal mitochondrial changes in avian retinal pigment epithelium: a search for correlation with thyroid state. *Curr Eye Res* 1982;2: 863-8.
- Lauber JK, Oishi T, Vriend J. Plasma melatonin rhythm lost in preglaucomatous chicks. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics* 1986;2: 205-13.
- Lauber JK. Light-induced avian glaucoma as an animal model for human primary glaucoma. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics* 1987;3: 77-100.
- Lauber JK. Review: avian models for experimental myopia. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics* 1991;7: 259-76.
- Lees W. Ultrasound imaging in three and four dimensions. *Seminars in Ultrasound, CT, and MRI* 2001;22: 85-105.
- Lehmkuhl RC, Almeida MF, Mamprim MJ, Vulcano LC. B-mode ultrasonography biometry of the Amazon Parrot (*Amazona aestiva*) eye. *Vet Ophthalmol* 2010;13 Suppl: 26-8.
- Lewis P, Morris T. Poultry and coloured light. *World's Poultry Science Journal* 2000;56: 189-207.

- Li H, Jhanji V, Dorairaj S, Liu A, Lam DS, Leung CK. Anterior segment optical coherence tomography and its clinical applications in glaucoma. *Journal of current glaucoma practice* 2012;6: 68.
- Li T, Troilo D, Glasser A, Howland HC. Constant light produces severe corneal flattening and hyperopia in chickens. *Vision Res* 1995;35: 1203-9.
- Liepert A (2013) Dreidimensionale Sonographie am gesunden und erkrankten Vogelauge - das hintere Augensegment. Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Liepert A, Dorobek K, Korbel R (2014) Zwei- und dreidimensionale sonographische Untersuchungen am Reptilienauge. DVG-Fachgruppe "Zier-, Zoo- und Wildvögel, Reptilien und Amphibien". München. 30-3
- List S (2002) Dreidimensionale Sonographie am Auge des Pferdes. Ludwig-Maximilians-Universität München, München
- Lizzi FL, Feleppa EJ. Practical Physics and Electronics of Ultrasound. *International Ophthalmology Clinics Winter* 1979;19: 35-66.
- Manser C. Effects of lighting on the welfare of domestic poultry: a review. *Animal welfare* 1996;5: 341-60.
- Martin GR. Eye. In: *Form and Function in Birds*. King AS, McLelland J, eds. London: Academic Press 1985: 311-73.
- McCaghrey F, McCaghrey G. A practice based study of factors influencing intra-ocular pressure. *Ophthalmic and Physiological Optics* 1991;11: 195-200.
- Merz E, Miric-Tesanic D, Welter C. Value of the electronic scalpel (cut mode) in the evaluation of the fetal face. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000;16: 564-8.
- Mikaelian I, Paillet I, Williams D. Comparative use of various mydriatic drugs in kestrels (*Falco tinnunculus*). *Am J Vet Res* 1994;55: 270-2.
- Miller PE. The Glaucomas. In: *Slatter's Fundamentals of veterinary ophthalmology*, 4th ed. edn. Maggs DJ, Miller PE, Ofri R, eds. St. Louis: Saunders 2008:
- Morrison JC, Johnson EC, Cepurna W, Jia L. Understanding mechanisms of pressure-induced optic nerve damage. *Progress in retinal and eye research* 2005;24: 217-40.
- Murphy CJ. Raptor Ophthalmology. *Proceedings AAV Conference* 1984;43-56

- Nelson TR, Pretorius DH. Interactive acquisition, analysis, and visualization of sonographic volume data. *International Journal of Imaging Systems and Technology* 1997;8: 26-37.
- Nelson TR, Downey DB, Pretorius DH, Fenster A (1999) *Three-Dimensional Ultrasound*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- Nelson TR, Pretorius DH, Hull A, Riccabona M, Sklansky MS, James G. Sources and impact of artifacts on clinical three-dimensional ultrasound imaging. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000;16: 374-83.
- Newberry R, Hunt J, Gardiner E. Effect of alternating lights and strain on behavior and leg disorders of roaster chickens. *Poultry science* 1985;64: 1863-8.
- Nickel R, Schummer A, Seiferle E (1991) *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, Band IV. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Nickla DL, Wildsoet C, Wallman J. The circadian rhythm in intraocular pressure and its relation to diurnal ocular growth changes in chicks. *Exp Eye Res* 1998;66: 183-93.
- Nickla DL. Ocular diurnal rhythms and eye growth regulation: Where we are 50 years after Lauber. *Exp Eye Res* 2013;114: 25-34.
- Nickla DL, Totonelly K. Brief light exposure at night disrupts the circadian rhythms in eye growth and choroidal thickness in chicks. *Exp Eye Res* 2016;146: 189-95.
- Oishi T, Murakami N. Effects of duration and intensity of illumination on several parameters of the chick eye. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 1985;81: 319-23.
- Oishi T, Lauber JK. Light, experimental avian myopia and the role of the suprarenals. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics* 1986;2: 139-46.
- Olanrewaju H, Thaxton J, Dozier W, Purswell J, Roush W, Branton S. A review of lighting programs for broiler production. *International Journal of Poultry Science* 2006;5: 301-8.
- Olanrewaju H, Purswell J, Collier S, Branton S. Influence of photoperiod, light intensity and their interaction on growth performance and carcass characteristics of broilers grown to heavy weights. *International Journal of Poultry Science* 2012;11: 739.
- Olanrewaju H, Miller W, Maslin W, Collier S, Purswell J, Branton S. Influence of photoperiod, light intensity and their interaction on health indices of modern broilers grown to heavy weights. *International Journal of Poultry Science* 2015;14: 183-90.

- Olanrewaju H, Miller W, Maslin W, Collier S, Purswell J, Branton S. Effects of light sources and intensity on broilers grown to heavy weights. Part 1: Growth performance, carcass characteristics, and welfare indices. *Poultry science* 2016;95: 727-35.
- Osol G, Schwartz B, Foss DC. The effects of photoperiod and lid suture on eye growth in chickens. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1986;27: 255-60.
- Osorio D, Vorobyev M, Jones C. Colour vision of domestic chicks. *Journal of Experimental Biology* 1999;202: 2951-9.
- Pearson R. The Avian Eye and Vision. In: *The avian brain* London u.a.: Acad. Press 1972: 279-318.
- Poulsen Nautrup C. Dreidimensionale Sonographie. In: *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik von Hund und Katze*, 2 edn. Poulsen Nautrup C, Tobias R, eds. Hannover: Schlütersche GmbH 1998a: 381-90.
- Poulsen Nautrup C. Sonographische Phänomene und Artefakte. In: *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik von Hund und Katze*, 2 edn. Poulsen Nautrup C, Tobias R, eds. Hannover: Schlütersche GmbH 1998b: 60-75.
- Poulsen Nautrup C. Technische Grundlagen. In: *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik von Hund und Katze*, 2 edn. Poulsen Nautrup C, Tobias R, eds. Hannover: Schlütersche GmbH 1998c: 31-59.
- Poulsen Nautrup C. Physikalische Grundlagen. In: *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik von Hund und Katze*, 2 edn. Poulsen Nautrup C, Tobias R, eds. Hannover: Schlütersche GmbH 1998d: 21-30.
- Pumphrey RJ. Sensory Organs: Vision. In: *Biology and comparative physiology of birds*. Marshall AJ, ed.: 1960: 55-68.
- Rantanen NW, Ewing RL. Principles of Ultrasound Application in Animals. *Vet Radiol* 1981;22: 196-203.
- Rault J-L, Clark K, Groves PJ, Cronin GM. Light intensity of 5 or 20 lux on broiler behavior, welfare and productivity. *Poultry science* 2016: pew423.
- Rauscher FG, Azmanis P, Körber N, Koch C, Hübel J, Vetterlein W, Werner B, Thielebein J, Dawczynski J, Wiedemann P. Optical Coherence Tomography as a Diagnostic Tool for Retinal Pathologies in Avian Ophthalmology OCT for Diagnosis of Avian Retinal Pathologies. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54: 8259-69.
- Reese S. Dreidimensionale Sonographie des Auges. *Ultraschall in Med* 1999;20, Suppl 1: 127.

- Reese S, Korbel R, Liebich H-G. Sehorgan (Organum visus). In: Anatomie der Vögel, 2 edn. König HE, Korbel R, Liebich H-G, eds. Stuttgart: Schattauer 2008: 229-51.
- Reese S (2016) Persönliche Mitteilung, München
- Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M, Silverman RH, Coleman DJ. Epithelial thickness in the normal cornea: three-dimensional display with Artemis very high-frequency digital ultrasound. J Refract Surg 2008;24: 571-81.
- Sanotra G, Lund JD, Vestergaard K. Influence of light-dark schedules and stocking density on behaviour, risk of leg problems and occurrence of chronic fear in broilers. British poultry science 2002;43: 344-54.
- Schaeffel F, Howland HC. Corneal accommodation in chick and pigeon. Journal of Comparative Physiology A 1987;160: 375-84.
- Scotty NC, Cutler TJ, Brooks DE, Ferrell E. Diagnostic ultrasonography of equine lens and posterior segment abnormalities. Vet Ophthalmol 2004;7: 127-39.
- Seidel B. Augenkrankheiten der Vögel. In: Augenkrankheiten der Haustiere, 2., neugestaltete Aufl. edn. Schmidt V, ed. Jena: Fischer 1988: 237-61.
- Siegmann O, U N (2011) Kompendium der Geflügelkrankheiten. Schlütersche Verlag, Hannover
- Sigg RE (2016) Optische Kohärenztomographie am vorderen Augensegment bei Greifvögeln. Ludwig-Maximilian-Universität, München
- Silverman RH, Coleman DJ, Rondeau MJ, Woods SM, Lizzi FL. Measurement of ocular tumor volumes from serial, cross-sectional ultrasound scans. Retina 1993;13: 69-74.
- Slonaker JR. A physiological study of the anatomy of the eye and its accessory parts of the english sparrow (passer domesticus). Journal of Morphology 1918;31: 351-459.
- Smith ME, Becker B, Podos S. Light-induced angle-closure glaucoma in the domestic fowl. Invest Ophthalmol Vis Sci 1969;8: 213-21.
- Smith ME, Coleman DJ, Haik BG. Ultrasonography of the Eye. International Ophthalmology Clinics Fall 1986;26: 25-50.
- Sohn C, Grotepaß J, Schneider W, Sohn G, Funk A, Jensch P, Fendel H, Ameling W, Jung H. Dreidimensionale Darstellung in der Ultraschall Diagnostik. Deutsche Medizinische Wochenschrift 1988;45: 1743-7.

- Sohn C. Die Vorteile der räumlichen, dreidimensionalen Ultraschalldarstellung in der klinischen Anwendung. *Bildgebung* 1994;61: 87-94.
- Squarzoni R, Perlmann E, Antunes A, Milanelo L, de Moraes Barros PS. Ultrasonographic aspects and biometry of Striped owl's eyes (*Rhinoptynx clamator*). *Vet Ophthalmol* 2010;13 Suppl: 86-90.
- Steiff H (1996) Die Messung des intraokularen Druckes beim Pferd mit Hilfe des Tono-Pen XL. Ludwig-Maximilian-Universität, München
- Stone RA, Lin T, Desai D, Capehart C. Photoperiod, early post-natal eye growth, and visual deprivation. *Vision Res* 1995;35: 1195-202.
- Strobel BK (2010) Okulare Sonographie des gesunden und erkrankten Auges bei Wildgreifvögeln. Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Tandler H (2013) Tonometrie am Vogelauge mittels TonoVet und TonoLab im Vergleich zum TonoPenXL. Ludwig-Maximilian-Universität, München
- Taylor PE, Scott GB, Rose P. The ability of domestic hens to jump between horizontal perches: effects of light intensity and perch colour. *Applied Animal Behaviour Science* 2003;83: 99-108.
- Tracey D, Walker J. Pain due to nerve damage: are inflammatory mediators involved. *Inflammation Research* 1995;44: 407-11.
- Vosough D, Masoudifard M, Veshkini A, Vajhi AR, Sorouri S. Three Dimensional Ultrasonography of the Eye and Measurement of Optical Nerve Sheet Diameter in Dog. *Iranian Journal of Veterinary Surgery (IJVS)* 2007;2: 73-8.
- Walde I. Klassifikation des Glaukoms beim Hund. *Tieraerztliche Praxis* 1984;
- Walls GL. The vertebrate eye and its adaptive radiation. 1942;
- Weise H (2008) Lichtbedingte Einflüsse auf Verhalten und Leistung in der Hähnchenmast. Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Whitley RD, Albert R, Brewer RN, McDaniel GR, Pidgeon GL, Mora E. Photoinduced Bupthalmic Avian Eyes: II. Continuous Darkness. *Poultry science* 1985;64: 1869-74.
- Wilkinson JL, Hodos W. Intraocular pressure and eye enlargement in chicks. *Curr Eye Res* 1991;10: 163-8.
- Williams J, Wilkie DA, Gränitz U. Ultraschalluntersuchungen in der Veterinärophthalmologie. *Tierärztl. Prax.* 1995;23: 111-5.

Yinon U, Koslowe K, Lobel D, Landshman N, Barishak Y. Lid suture myopia in developing chicks: optical and structural considerations. *Curr Eye Res* 1982;2: 877-82.

Zhu X, Lin T, Stone RA, Laties AM. Sex differences in chick eye growth and experimental myopia. *Exp Eye Res* 1995;61: 173-9.

9 Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Werte Deskription Licht.....	127
--	-----

Anlage 1: Werte Deskription Licht**Untersuchungszeitpunkte:**

Versuchsgruppe					
Untersuchungstag:	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 6	Tag 8
Datum:	30.07.2016	31.07.2016	01.08.2016	03.08.2016	05.08.2016
Untersuchungstag:	Tag 11	Tag 16	Tag 21	Tag 31	Tag 41
Datum:	08.08.2016	13.08.2016	18.08.2016	28.08.2016	07.09.2016

Kontrollgruppe					
Untersuchungstag:	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 6	Tag 8
Datum:	11.06.2016	12.06.2016	13.06.2016	15.06.2016	17.06.2016
Untersuchungstag:	Tag 11	Tag 16	Tag 21	Tag 31	Tag 41
Datum:	20.06.2016	25.06.2016	30.06.2016	10.07.2016	20.07.2016

Ultraschalldauer:

Min.	25%-Quantil	Median	Mean	75%-Quantil	Maximum
3	5	6	6.415	8	20

Gewicht:

Einheit kg		Männlich (N = 91)			weiblich (N = 89)	
	N	Mittel	Std.-Abw.	n	Mittel	Std.-Abw.
Tag 2	4	0.055	0.0074	6	0.0513	0.0068
Tag 3	5	0.0676	0.0065	5	0.0612	0.0063
Tag 4	8	0.0745	0.0066	12	0.0765	0.0064
Tag 6	13	0.121	0.0225	7	0.1207	0.0133
Tag 8	9	0.1712	0.0131	11	0.161	0.0142
Tag 11	11	0.2734	0.0245	9	0.2694	0.0241
Tag 16	12	0.5419	0.0621	8	0.4839	0.0286
Tag 21	12	0.9091	0.0485	8	0.7958	0.0872
Tag 31	8	1.7975	0.1104	12	1.505	0.1217
Tag 41	9	2.8033	0.3714	11	2.4692	0.3415

		(N = 20)	
	n	Mittel	Std.-Abw.
Tag 2	10	0.0505	0.0031
Tag 3	10	0.0574	0.0109

Augeninnendruck:

Einheit mmHg		Versuchsgruppe (N = 200)			Kontrollgruppe (N = 200)	
	n	Mittelwert	Standardabw.	n	Mittelwert	Standardabw.
Tag 2	20	7.35	0.6708	20	8.1	1.619
Tag 3	20	7.4	1.0463	20	8.45	0.8256
Tag 4	20	7.55	0.5104	20	8.4	0.5982
Tag 6	20	7.8	0.6156	20	8.1	0.6407
Tag 8	20	8.75	0.8507	20	8.3	0.8013
Tag 11	20	8.65	0.6708	20	8.35	1.04
Tag 16	20	8.75	0.5501	20	9.35	1.04
Tag 21	20	9.25	0.7164	20	8.8	1.105
Tag 31	20	8.65	0.6708	20	9.75	0.9105
Tag 41	20	9.75	0.7164	20	10.05	0.9987

Beleuchtungsbedingungen:

Einheit lux		Versuchsgruppe (N = 100)		
	N	Lux (Plan)	Lux tatsächlich	Abweichung
Tag	10	20	20.6	3 %
Tag	10	20	20.28	1.4 %
Tag	10	20	20.36	1.8 %
Tag	10	20	20.37	1.85 %
Tag	10	20	20.24	1.2 %
Tag	10	15	15.48	3.2 %
Tag	10	10	10.09	0.9 %
Tag	10	5	5.3	6 %
Tag	10	5	5.41	8.2 %
Tag	10	5	5.31	6.2 %

		Kontrollgruppe (N = 100)		
	N	Lux (Plan)	Lux tatsächlich	Abweichung
Tag	10	20	20.03	0.15 %
Tag	10	20	20.09	0.45 %
Tag	10	20	20.07	0.35 %
Tag	10	20	20.09	0.45 %
Tag	10	20	20.08	0.4 %
Tag	10	20	20.12	0.6 %
Tag	10	20	20.1	0.5 %
Tag	10	20	20.14	0.7 %
Tag	10	20	21.94	9.7 %
Tag	10	20	21.81	9.05 %

Vordere Augenkammer:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	0.8144 (0.0352)	0.7847 (0.0537)	0.8016 (0.0493)	0.8002 (0.04)
Tag 3	20	0.7918 (0.0777)	0.7991 (0.0764)	0.8134 (0.0731)	0.8014 (0.0727)
Tag 4	20	0.8135 (0.049)	0.8169 (0.0635)	0.8163 (0.058)	0.8156 (0.0532)
Tag 6	20	0.8754 (0.0532)	0.8513 (0.0635)	0.8706 (0.0513)	0.8658 (0.0521)
Tag 8	20	0.9502 (0.1007)	0.9522 (0.086)	0.9593 (0.0875)	0.9539 (0.0883)
Tag 11	20	1.0892 (0.0543)	1.0486 (0.1247)	1.0885 (0.0413)	1.0754 (0.0606)
Tag 16	20	1.2622 (0.064)	1.2592 (0.0634)	1.2911 (0.0803)	1.2708 (0.0665)
Tag 21	20	1.4264 (0.0998)	1.4342 (0.0819)	1.4372 (0.0743)	1.4326 (0.0767)
Tag 31	20	1.7718 (0.1884)	1.7651 (0.1915)	1.7844 (0.1842)	1.7738 (0.1852)
Tag 41	20	1.8554 (0.1628)	1.8522 (0.1462)	1.8721 (0.1399)	1.8599 (0.1467)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	0.8211 (0.052)	0.8096 (0.0659)	0.8111 (0.0581)	0.8139 (0.0468)
Tag 3	20	0.761 (0.0601)	0.7628 (0.0656)	0.7611 (0.0625)	0.7616 (0.0543)
Tag 4	20	0.7502 (0.0405)	0.7533 (0.0608)	0.7538 (0.0578)	0.7524 (0.0426)
Tag 6	20	0.7912 (0.0706)	0.7828 (0.0764)	0.7836 (0.0845)	0.7859 (0.0743)
Tag 8	20	0.7834 (0.0679)	0.7854 (0.0588)	0.7855 (0.0727)	0.7848 (0.0631)
Tag 11	20	0.9437 (0.0813)	0.945 (0.0975)	0.9447 (0.0824)	0.9445 (0.0818)
Tag 16	20	1.1881 (0.0962)	1.1912 (0.1048)	1.1835 (0.0926)	1.1876 (0.0831)
Tag 21	20	1.358 (0.0936)	1.3706 (0.0867)	1.3758 (0.088)	1.3681 (0.0867)
Tag 31	20	1.6692 (0.1518)	1.6602 (0.1603)	1.644 (0.1765)	1.6578 (0.1511)
Tag 41	20	1.843 (0.1983)	1.8434 (0.2046)	1.8337 (0.1975)	1.84 (0.1951)

Linse axial:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	1.8545 (0.0432)	1.8873 (0.062)	1.8612 (0.0585)	1.8677 (0.045)
Tag 3	20	1.9166 (0.0573)	1.9276 (0.0508)	1.9147 (0.0622)	1.9196 (0.0427)
Tag 4	20	1.9536 (0.0515)	1.9483 (0.0928)	1.9581 (0.0547)	1.9533 (0.0505)
Tag 6	20	2.0338 (0.0327)	2.0582 (0.062)	2.0407 (0.0413)	2.0442 (0.0352)
Tag 8	20	2.1126 (0.0502)	2.1027 (0.0415)	2.0909 (0.0882)	2.1021 (0.0373)
Tag 11	20	2.2444 (0.0607)	2.2438 (0.071)	2.2334 (0.0651)	2.2405 (0.0509)
Tag 16	20	2.3251 (0.0659)	2.3316 (0.0508)	2.3145 (0.0687)	2.3237 (0.0534)
Tag 21	20	2.4602 (0.0707)	2.4668 (0.1022)	2.4539 (0.0787)	2.4603 (0.0782)
Tag 31	20	2.558 (0.0798)	2.5719 (0.0724)	2.551 (0.067)	2.5603 (0.0669)
Tag 41	20	2.7263 (0.1202)	2.7198 (0.1055)	2.7047 (0.1049)	2.7169 (0.1035)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	1.8444 (0.0596)	1.8764 (0.0848)	1.8608 (0.0699)	1.8605 (0.0479)
Tag 3	20	1.9704 (0.0764)	1.9515 (0.0491)	1.9596 (0.0723)	1.9605 (0.0545)
Tag 4	20	1.9751 (0.0561)	1.9813 (0.0725)	1.9774 (0.0765)	1.9779 (0.0543)
Tag 6	20	2.0424 (0.0601)	2.049 (0.0598)	2.0483 (0.071)	2.0466 (0.0557)
Tag 8	20	2.1125 (0.1651)	2.1493 (0.0539)	2.1398 (0.0712)	2.1339 (0.0723)
Tag 11	20	2.2502 (0.0897)	2.2595 (0.0861)	2.2538 (0.0827)	2.2545 (0.0768)
Tag 16	20	2.3707 (0.0395)	2.3773 (0.0626)	2.3711 (0.0422)	2.373 (0.0374)
Tag 21	20	2.4885 (0.0711)	2.4685 (0.062)	2.4452 (0.1839)	2.4674 (0.0934)
Tag 31	20	2.6371 (0.1029)	2.6479 (0.0922)	2.6572 (0.1067)	2.6474 (0.0924)
Tag 41	20	2.8932 (0.1191)	2.9055 (0.1095)	2.8949 (0.0936)	2.8979 (0.0967)

Linse transversal:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	3.6105 (0.2258)	3.6768 (0.2509)	3.5871 (0.5189)	3.6248 (0.2258)
Tag 3	20	3.6805 (0.3597)	3.5821 (0.1975)	3.6798 (0.2096)	3.6475 (0.1828)
Tag 4	20	3.6622 (0.2166)	3.6772 (0.2538)	3.6423 (0.2678)	3.6606 (0.1815)
Tag 6	20	4.0376 (0.2768)	4.0819 (0.3931)	4.152 (0.4821)	4.0905 (0.2904)
Tag 8	20	4.0051 (0.3023)	3.9468 (0.2903)	3.8785 (0.2738)	3.9435 (0.2199)
Tag 11	20	4.5065 (0.3093)	4.3211 (0.4)	4.3914 (0.249)	4.4063 (0.2391)
Tag 16	20	4.6772 (0.3878)	4.7504 (0.3404)	4.8572 (0.3325)	4.7616 (0.2053)
Tag 21	20	5.3716 (0.4208)	5.2934 (0.2931)	5.367 (0.3618)	5.344 (0.288)
Tag 31	20	6.1689 (0.4234)	6.2939 (0.3203)	6.294 (0.4499)	6.2523 (0.3428)
Tag 41	20	6.3066 (0.4211)	6.3207 (0.2846)	6.355 (0.3928)	6.3274 (0.2153)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	3.9263 (0.2432)	3.9442 (0.2007)	3.9386 (0.2188)	3.9364 (0.1478)
Tag 3	20	3.4687 (0.2574)	3.4032 (0.2443)	3.462 (0.236)	3.4446 (0.1728)
Tag 4	20	3.613 (0.2385)	3.6826 (0.2633)	3.5511 (0.3269)	3.6156 (0.1813)
Tag 6	20	3.8099 (0.3954)	3.9364 (0.2924)	3.881 (0.3161)	3.8757 (0.2351)
Tag 8	20	4.0511 (0.3157)	4.0441 (0.371)	4.0253 (0.3056)	4.0401 (0.2329)
Tag 11	20	4.4216 (0.2535)	4.3804 (0.259)	4.3913 (0.2528)	4.3978 (0.1826)
Tag 16	20	4.9166 (0.3392)	4.7655 (0.6592)	4.7403 (0.6182)	4.8074 (0.4629)
Tag 21	20	5.2746 (0.3813)	5.1211 (0.4987)	5.2691 (0.439)	5.2216 (0.3438)
Tag 31	20	5.0766 (0.5214)	4.9971 (0.4977)	4.9763 (0.4754)	5.0167 (0.4109)
Tag 41	20	5.4647 (0.3519)	5.4661 (0.2887)	5.5456 (0.4126)	5.4921 (0.245)

Glaskörper axial:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	5.0173 (0.1082)	4.9919 (0.1174)	5.0056 (0.1022)	5.0049 (0.1058)
Tag 3	20	5.0462 (0.2082)	5.0434 (0.2046)	5.0499 (0.205)	5.0465 (0.2035)
Tag 4	20	5.1495 (0.1696)	5.097 (0.2707)	5.0842 (0.3355)	5.1102 (0.2416)
Tag 6	20	5.3055 (0.1199)	5.3068 (0.0973)	5.312 (0.1087)	5.3081 (0.1021)
Tag 8	20	5.4444 (0.1991)	5.4551 (0.1962)	5.4417 (0.2206)	5.4471 (0.2042)
Tag 11	20	5.6599 (0.2401)	5.6222 (0.2699)	5.6633 (0.245)	5.6485 (0.2407)
Tag 16	20	6.2225 (0.2553)	6.2122 (0.2475)	6.2131 (0.2651)	6.216 (0.2546)
Tag 21	20	6.5647 (0.2518)	6.616 (0.1684)	6.6215 (0.1705)	6.6007 (0.1679)
Tag 31	20	7.3272 (0.3252)	7.3139 (0.3157)	7.3232 (0.3276)	7.3214 (0.3218)
Tag 41	20	8.1363 (0.2165)	8.1488 (0.2258)	8.1495 (0.2242)	8.1449 (0.218)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	5.0894 (0.1863)	5.0692 (0.1924)	5.0669 (0.1851)	5.0751 (0.1843)
Tag 3	20	4.9081 (0.1995)	4.9286 (0.1903)	4.9242 (0.1983)	4.9203 (0.1937)
Tag 4	20	4.9937 (0.127)	4.9837 (0.1266)	4.9677 (0.1792)	4.9817 (0.1324)
Tag 6	20	5.2473 (0.4493)	5.31 (0.1406)	5.3277 (0.126)	5.295 (0.2197)
Tag 8	20	5.4958 (0.1832)	5.4965 (0.1657)	5.5082 (0.1904)	5.5002 (0.1765)
Tag 11	20	5.813 (0.2134)	5.8119 (0.2232)	5.7316 (0.4148)	5.7855 (0.2386)
Tag 16	20	6.0949 (0.1881)	6.0972 (0.1861)	6.0983 (0.2008)	6.0968 (0.1889)
Tag 21	20	6.4294 (0.1866)	6.4546 (0.1815)	6.4374 (0.1868)	6.4405 (0.1828)
Tag 31	20	6.8941 (0.262)	6.8813 (0.2555)	6.8886 (0.2611)	6.888 (0.2579)
Tag 41	20	7.4704 (0.4056)	7.4623 (0.3922)	7.4747 (0.3916)	7.4691 (0.3953)

Hintere Augenwand:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	0.8075 (0.0392)	0.8016 (0.043)	0.8063 (0.0507)	0.8052 (0.0419)
Tag 3	20	0.8439 (0.0357)	0.8421 (0.0337)	0.8458 (0.0349)	0.8439 (0.0311)
Tag 4	20	0.8136 (0.0355)	0.823 (0.0467)	0.8134 (0.0344)	0.8167 (0.0354)
Tag 6	20	0.8444 (0.0388)	0.8372 (0.0337)	0.8428 (0.0323)	0.8415 (0.0317)
Tag 8	20	0.8648 (0.0405)	0.8659 (0.0447)	0.871 (0.0464)	0.8672 (0.0412)
Tag 11	20	0.83 (0.1524)	0.8106 (0.1469)	0.8224 (0.156)	0.821 (0.1506)
Tag 16	20	0.5842 (0.1437)	0.5889 (0.1432)	0.5932 (0.1486)	0.5888 (0.1441)
Tag 21	20	0.5129 (0.0232)	0.5055 (0.0201)	0.511 (0.0236)	0.5098 (0.0187)
Tag 31	20	0.5006 (0.0359)	0.5058 (0.0361)	0.5055 (0.0382)	0.504 (0.0333)
Tag 41	20	0.5132 (0.0455)	0.5031 (0.0437)	0.5104 (0.0463)	0.5089 (0.0387)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	0.7371 (0.079)	0.7216 (0.0785)	0.7241 (0.0779)	0.7276 (0.0613)
Tag 3	20	0.8723 (0.0303)	0.8675 (0.028)	0.8663 (0.0395)	0.8687 (0.0277)
Tag 4	20	0.8524 (0.0238)	0.8606 (0.0345)	0.867 (0.0325)	0.86 (0.0242)
Tag 6	20	0.8597 (0.0669)	0.864 (0.0509)	0.8647 (0.0495)	0.8628 (0.0516)
Tag 8	20	0.8612 (0.0669)	0.8593 (0.0663)	0.8565 (0.0754)	0.859 (0.0673)
Tag 11	20	0.826 (0.1684)	0.8231 (0.1704)	0.8271 (0.1686)	0.8254 (0.1674)
Tag 16	20	0.5775 (0.025)	0.5756 (0.0241)	0.5772 (0.0266)	0.5768 (0.021)
Tag 21	20	0.5696 (0.0188)	0.5677 (0.0183)	0.5692 (0.02)	0.5688 (0.0157)
Tag 31	20	0.563 (0.0301)	0.5617 (0.0379)	0.5645 (0.0318)	0.5631 (0.0261)
Tag 41	20	0.5916 (0.0493)	0.6039 (0.0411)	0.5989 (0.0441)	0.5981 (0.0377)

Bulbus:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	8.8951 (0.1126)	8.8701 (0.1087)	8.8803 (0.1181)	8.8818 (0.1104)
Tag 3	20	9.0016 (0.2343)	9.0164 (0.2274)	9.0264 (0.2185)	9.0148 (0.2258)
Tag 4	20	9.1172 (0.1678)	9.1356 (0.1765)	9.1186 (0.1853)	9.1238 (0.1758)
Tag 6	20	9.4636 (0.1156)	9.4474 (0.1307)	9.4596 (0.1344)	9.4569 (0.1254)
Tag 8	20	9.7623 (0.2114)	9.7704 (0.2051)	9.6711 (0.4846)	9.7346 (0.2473)
Tag 11	20	10.0607 (0.7267)	10.1844 (0.2151)	10.1969 (0.2295)	10.1473 (0.3322)
Tag 16	20	10.7864 (0.3491)	10.7866 (0.3471)	10.8008 (0.3556)	10.7913 (0.35)
Tag 21	20	11.4249 (0.228)	11.417 (0.2328)	11.37 (0.3482)	11.404 (0.2537)
Tag 31	20	12.5489 (0.4336)	12.5543 (0.4368)	12.5573 (0.4342)	12.5535 (0.4348)
Tag 41	20	13.6202 (0.2602)	13.6137 (0.2581)	13.6152 (0.2646)	13.6164 (0.2601)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	8.8724 (0.1658)	8.8578 (0.1944)	8.8481 (0.1839)	8.8594 (0.1771)
Tag 3	20	8.9145 (0.1979)	8.9187 (0.1926)	8.9162 (0.2014)	8.9165 (0.196)
Tag 4	20	8.9818 (0.1314)	8.9975 (0.1271)	9.0024 (0.1389)	8.9939 (0.1307)
Tag 6	20	9.4296 (0.1678)	9.4183 (0.1616)	9.4343 (0.1582)	9.4274 (0.1607)
Tag 8	20	9.6997 (0.1552)	9.713 (0.165)	9.7049 (0.1621)	9.7059 (0.1593)
Tag 11	20	10.2354 (0.2134)	10.245 (0.2073)	10.2431 (0.2302)	10.2412 (0.215)
Tag 16	20	10.6576 (0.1946)	10.6669 (0.1979)	10.6599 (0.202)	10.6615 (0.1972)
Tag 21	20	11.2506 (0.2466)	11.2684 (0.228)	11.2676 (0.2318)	11.2622 (0.2345)
Tag 31	20	12.1333 (0.3446)	12.1672 (0.3034)	12.1726 (0.295)	12.1577 (0.3065)
Tag 41	20	13.2356 (0.4053)	13.2506 (0.4161)	13.2398 (0.4231)	13.242 (0.414)

Augenfächer:

Einheit mm		Dunkel (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	3.8079 (0.237)	3.8284 (0.2083)	3.8407 (0.205)	3.8256 (0.2084)
Tag 3	20	3.8829 (0.2583)	3.8966 (0.2419)	3.8779 (0.2554)	3.8858 (0.2391)
Tag 4	20	3.8034 (0.333)	3.7651 (0.258)	3.7925 (0.3035)	3.787 (0.2885)
Tag 6	20	3.8684 (0.1983)	3.9004 (0.1914)	3.8898 (0.1922)	3.8862 (0.1757)
Tag 8	20	3.9234 (0.2654)	3.8728 (0.2975)	3.885 (0.3156)	3.8937 (0.2581)
Tag 11	20	4.1965 (0.2136)	4.1755 (0.2286)	4.1943 (0.2127)	4.1888 (0.2008)
Tag 16	20	4.2692 (0.342)	4.2229 (0.2805)	4.2433 (0.2827)	4.2451 (0.2835)
Tag 21	20	4.2512 (0.2741)	4.2829 (0.2149)	4.2329 (0.2333)	4.2556 (0.1891)
Tag 31	20	4.5983 (0.2266)	4.528 (0.2769)	4.5346 (0.3059)	4.5536 (0.2602)
Tag 41	20	4.6714 (0.234)	4.7048 (0.2377)	4.7067 (0.2004)	4.6943 (0.2063)

Einheit mm		Normal (N = 200)			
	N	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Gesamt
Tag 2	20	3.4972 (0.3123)	3.4714 (0.2933)	3.4937 (0.2798)	3.4874 (0.2758)
Tag 3	20	3.6923 (0.2517)	3.6503 (0.1939)	3.6069 (0.2126)	3.6498 (0.1809)
Tag 4	20	3.4823 (0.2538)	3.428 (0.2662)	3.4922 (0.2717)	3.4675 (0.2344)
Tag 6	20	3.5693 (0.1967)	3.6038 (0.1847)	3.6325 (0.2068)	3.6019 (0.1743)
Tag 8	20	3.7067 (0.2307)	3.6878 (0.2605)	3.6801 (0.2697)	3.6915 (0.2412)
Tag 11	20	3.9827 (0.2132)	3.9744 (0.2164)	3.8805 (0.3566)	3.9459 (0.2441)
Tag 16	20	3.9602 (0.3027)	4.0419 (0.2833)	4.1023 (0.2329)	4.0348 (0.2576)
Tag 21	20	4.1788 (0.243)	4.1506 (0.2626)	4.1535 (0.3007)	4.161 (0.2487)
Tag 31	20	4.478 (0.2939)	4.4405 (0.2441)	4.3782 (0.2237)	4.4322 (0.2289)
Tag 41	20	4.5503 (0.292)	4.5771 (0.2548)	4.5212 (0.3497)	4.5495 (0.2621)

10 Danksagung

Zuerst möchte ich Herrn Prof. Dr. Korbel, sowohl für die Überlassung dieses interessanten Themas, als auch für die Einführung in die Thematik der Ornitho-Ophthalmologie bedanken.

Frau Dr. Kristina Moser möchte ich herzlich für die große fachliche wie auch moralische Unterstützung während der gesamten Zeit danken. Beginnend bei der Versuchsplanung und endend bei der äußerst sorgfältigen Durchsicht meiner Arbeit. Ohne sie wäre die Durchführung dieser Arbeit zu keinem Zeitpunkt möglich gewesen. Vielen Dank für deinen unermüdlichen Einsatz und Optimismus während der letzten 3 Jahre.

Mein herzlicher Dank darüber hinaus gilt allen Mitarbeitern und Doktoranden der Klinik für Vögel, Kleinsäuger, Reptilien und Zierfische, die sowohl zahlreich bei der Vorbereitung als auch bei der Durchführung beteiligt waren und diese Arbeit unterstützt haben. Besonderer Dank geht hierbei an Dr. Susanne Thiel, Dr. Andrea Peschel, PD Dr. Monika Rinder, Martina Rzepka, Nancy Schütz, Patricio Schmid, Jennifer Kirschner und Katharina Diefert.

Ebenso möchte ich Herrn Dr. Josef Bachmeier und der Brüterei Süd für die großartige Zusammenarbeit und die unkomplizierte Betreuung vor Ort bedanken. Besonders Familie Reichl, die uns stets tatkräftig im Stall unterstützt hat, gilt mein besonderer Dank.

Ganz besonders möchte ich auch dem statistischen Beratungslabor der LMU unter der Leitung von Prof. Dr. Küchenhoff danken, besonders zu erwähnen sind hier Dr. Veronika Deffner und Matthias Aßenmacher, die unermüdlich im Einsatz waren mir die Grundsätze der Statistik näher zu bringen. Ebenso möchte ich mich bei PD Dr. Sven Reese für den ausgezeichneten themenorientierten Input bedanken.

Bei Bianka Reisenbichler bedanke ich mich für die enge Zusammenarbeit in den letzten Jahren und die Unterstützung während der gesamten Zeit der Versuchsplanung und Durchführung.

Zuletzt ein ganz großes Dankeschön an meine Eltern, ebenso an meine Schwester sowie an Paul und Johannes, die mich stets unterstützt, mir in vielen Dingen den Rücken gestärkt und durchweg an mich und an mein Vorhaben geglaubt haben.

